



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

Raquel Rodrigues do Nascimento Menezes

**ESTUDO DA POTENCIALIDADE DO RESÍDUO DO POLIMENTO
DO PORCELANATO PARA FINS DE REUTILIZAÇÃO COMO
AGREGADO LEVE**

JOÃO PESSOA

2018

RAQUEL RODRIGUES DO NASCIMENTO MENEZES

**ESTUDO DA POTENCIALIDADE DO RESÍDUO DO POLIMENTO
DO PORCELANATO PARA FINS DE REUTILIZAÇÃO COMO
AGREGADO LEVE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior em Engenharia de Materiais da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, como requisito para obtenção do título de bacharela em engenharia de materiais.

**Orientador: Prof. Dr. Ricardo
Peixoto Suassuna Dutra**

JOÃO PESSOA

2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M543e Menezes, Raquel Rodrigues do Nascimento.

Estudo da potencialidade do resíduo do polimento do porcelanato para fins de reutilização como agregado leve / Raquel Rodrigues do Nascimento Menezes. - João Pessoa, 2018.

65 f. : il.

Orientação: Ricardo Dutra.

Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

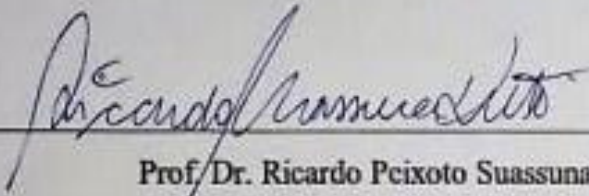
1. Resíduo, reutilização, agregado leve. I. Dutra, Ricardo. II. Título.

UFPB/BC

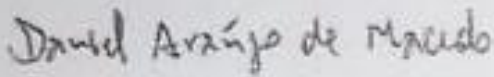
**ESTUDO DA POTENCIALIDADE DO RESÍDUO DO POLIMENTO
DO PORCELANATO PARA FINS DE REUTILIZAÇÃO COMO
AGREGADO LEVE**

RAQUEL RODRIGUES DO NASCIMENTO MENEZES

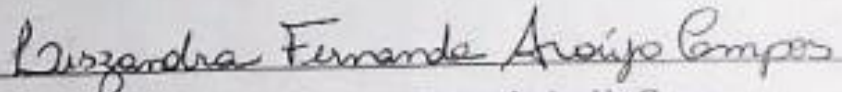
Monografia, defendida e aprovada em junho de 2018 pela banca examinadora
constituída dos membros:



Prof. Dr. Ricardo Peixoto Suassuna Dutra
Orientador
UFPB



Prof. Dr. Daniel Araújo de Macedo
Examinador
UFPB



Prof.ª. Dra. Lizandra Fernanda Araújo Campos
Examinador
UFPB

“Não que, por nós mesmos, sejamos capazes de pensar alguma coisa, como se partisse de nós; pelo contrário, a nossa suficiência vem de Deus.”

(Bíblia Sagrada- 2 Coríntios 3:5).

Dedico este trabalho aos meus pais, Mônica Menezes e Gentil Menezes, os quais sempre foram meus maiores incentivadores em todas as áreas da vida! A eles todo meu amor, respeito e admiração, para sempre.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o meu Abba, estando ao meu lado a todo suspiro de vida, sendo meu abrigo eterno.

Aos meus pais Gentil Menezes e Mônica Menezes, por serem minha base, meu auxílio, sustento e força, e por me fazerem chegar até aqui.

A minha irmã Rebeca Menezes, por todo amor compartilhado e por ser minha companheira de vida.

A minha amada avó Socorro Menezes, por todo auxílio e preocupação ao longo da vida.

Aos meus tios Marilene Nérís e Gilberto Nérís, por todo cuidado ao longo da vida, e primos Patrícia Andrade, Priscilla Nérís e Gilberto Júnior, por sempre serem exemplos para mim.

Ao meu amado Pedro Thiago Mendonça, por todo amor, ajuda, compreensão e por me fazer persistir.

A minhas queridas amigas Nathália Barbosa e Isadora Carvalho, por serem minhas companheiras espirituais e meus auxílios na vida.

A Dayana Gabriel e Priscilla Fernandes, que sempre foram como tutoras para mim, e pela oportunidade de realização do estágio na indústria.

Ao meu amigo Igor Dantas, pela amizade e disponibilidade sempre.

Ao meu orientador professor Dr. Ricardo Peixoto, por toda ajuda ao longo da graduação e iniciações científicas até o TCC, e por toda paciência e ensino.

Aos professores Daniel Oliveira e Lizzandra Campos, pela prontidão em avaliar meu trabalho.

A André e Chrystiano pela ajuda ao longo das pesquisas.

A todos os professores do Departamento de Engenharia de Materiais da UFPB, pelo ensino prestado ao longo de toda a graduação.

A Universidade Federal da Paraíba e ao Centro de Tecnologia, pela oportunidade da graduação.

Ao CNPq/ CAPES, pelas bolsas de fomento à pesquisa e iniciação científica, e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização desse trabalho e concretização do sonho de ser engenheira de materiais.

RESUMO

O estudo de resíduos industrialmente produzidos vem se tornando bastante corriqueiro no meio científico, devido ao fato desses materiais comumente serem descartados de forma inadequada, gerando malefícios ao meio ambiente. Dentre esses resíduos industriais, o resíduo do polimento do porcelanato vem ganhando cada vez mais destaque, pela larga escala de fabricação desse material. O porcelanato é um material cerâmico de boas propriedades tecnológicas, amplamente utilizado na atualidade graças aos seus muitos benefícios, principalmente, a sua longa durabilidade, por isso, a sua produção cresce cada vez mais, e consequentemente a quantidade de resíduos gerados aumentam. Os resíduos são gerados principalmente na etapa de polimento, uma vez que esse material requer um excelente acabamento superficial, e são compostos, principalmente, pela formulação do porcelanato e materiais abrasivos vindos da polidora. Por isso, hoje em dia, há muitos estudos envolvendo a incorporação do resíduo do polimento do porcelanato novamente no ciclo de produção industrial. Neste trabalho, analisou-se a potencialidade da reutilização desse resíduo como agregado leve, para sua posterior incorporação na fabricação de concretos leves, visando reduzir custos e manter ou até mesmo melhorar as propriedades do concreto. Para isso, foram feitas caracterizações por difração de raios X, fluorescência de raios X, análise granulométrica e análise térmica, seguidas da produção corpos de prova, os quais foram submetidos a diferentes temperaturas de queima, e, analisou-se a morfologia do material posterior à sua expansão para avaliação dos poros formados, através da microscopia eletrônica de varredura. Os resultados mostraram a formação de um material cada vez mais poroso e leve de acordo com o aumento da temperatura, confirmando, com isso, um enorme potencial para sua utilização como agregado leve.

Palavras- Chave: Resíduo do polimento do porcelanato, reutilização, agregados leves.

ABSTRACT

The study of industrially produced wastes has become quite common in the scientific world, due to the fact that these materials are commonly disposed of inappropriately, causing damage to the environment. Among these industrial residues, porcelain tile polishing waste has been gaining increasing attention due to its large scale manufacturing of this material. Porcelanato is a ceramic material with good technological properties, widely used nowadays thanks to its many benefits, mainly, its long durability, as its production grows more and more, and consequently increases the amount of waste generated. The residues are generated mainly in the polishing step, since this material requires an excellent surface finish, being composed mainly by the formulation of the porcelain and abrasive materials coming from the polisher. Therefore, today, there are many studies involving the incorporation of porcelain tile polishing residues again in the industrial production cycle. In this work, the potential of reuse of this residue as a lightweight aggregate was analyzed for its later incorporation in the manufacture of lightweight concrete, aiming at reducing costs and maintaining or even improving the properties of the concrete. For this, characterizations were made by X-ray diffraction, X-ray fluorescence, granulometric analysis and thermal analysis, followed by the production of test specimens, which were subjected to different firing temperatures, and the morphology of the material after its expansion was analyzed for the pores formed by microscopy electronics. The results showed the formation of an increasingly porous and light material according to the increase in temperature, confirming an enormous potential for its use as a lightweight aggregate.

Keywords: Polished porcelanate residue, reuse, light aggregates.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma genérico do processamento das indústrias cerâmicas. Fonte: Oliveira <i>et al.</i> (2006).....	23
Figura 2: Demonstrativo das transformações durante a queima de uma placa de porcelanato. Fonte: Salem, A. <i>et al.</i> (2009)	27
Figura 3: Etapa do polimento do porcelanato: equipamento utilizado na indústria. Fonte: Souza (2007).....	28
Figura 3: Etapa do polimento do porcelanato: equipamento utilizado na indústria. Fonte: Souza (2007).....	29
Figura 5: Sistema de tratamento da água, e resíduo do polimento do porcelanato. Fonte: Souza (2007).....	30
Figura 6: Resíduo do polimento do porcelanato utilizado no presente trabalho. Fonte: Arquivos do autor.....	39
Figura 7: Moinho de bolas, utilizado na moagem do RPP. Fonte: Arquivos do autor.....	40
Figura 8: a) Peneira de Mesh 170 utilizada para homogeneização do resíduo; b) RPP após o peneiramento- material homogêneo. Fonte: Arquivos do autor.....	40
Figura 9: Resíduo com umidade para a produção dos corpos de prova. Fonte: Arquivos do autor.....	41
Figura 10: Prensa hidráulica, utilizada para a conformação dos corpos de prova. Fonte: Arquivos do autor.....	42
Figura 11: Amostras de RPP conformadas por prensagem uniaxial. Fonte: Arquivos do autor.....	42
Figura 12: Forno utilizado para a queima das amostras. Fonte: Arquivos do autor.....	43
Figura 13: Amostras queimadas: 1180 °C, 1150 °C, 1120 °C, e 1090 °C, respectivamente da esquerda para direita.....	44
Figura 14: Difratoograma do resíduo do polimento do porcelanato.....	46
Figura 15: Termogravimetria e análise térmica diferencial do resíduo de polimento de porcelanato.....	48
Figura 16: Histograma da distribuição granulométrica do RPP.....	50
Figura 17: Micrografia do resíduo do polimento do porcelanato a 1090°C- a) ampliação de 100 µm; b) ampliação de 10 µm.....	51

Figura 18: Microscopia do resíduo do polimento do porcelanato queimado a 1120°C- a) ampliação de 100 µm; b) ampliação de 10 µm.....	52
Figura 19: Microscopia do resíduo do polimento do porcelanato queimado a 1150°C- a) ampliação de 100 µm; b) ampliação de 20 µm.....	53
Figura 21: Microscopia do resíduo do polimento do porcelanato queimado a 1180°C-a) ampliação de 100 µm; b) ampliação de 20 µm.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composições típicas e análises químicas de massas cerâmicas para porcelanatos. Fonte Salem, A. <i>et al.</i> , (2009).....	25
Tabela 2: Composição química do resíduo do polimento do porcelanato. Fonte: Da autora (2018).....	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1 Revestimentos Cerâmicos	19
3.2 A Indústria de Revestimentos Cerâmicos	20
3.3 Processamento dos Revestimentos Cerâmicos	21
3.4 O Porcelanato	24
3.4.1 A Composição do Porcelanato	24
3.4.2 O Polimento do Porcelanato	27
3.4.2.1 O Resíduo do Polimento do Porcelanato	30
3.4.2.2 A Reciclagem do Resíduo do Polimento do Porcelanato	31
3.5 Agregados Leves	35
4 MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1 Seleção da Matéria- Prima	39
4.2 Beneficiamento da Matéria-Prima	39
4.3 Conformação	41
4.4 Queima	43
4.5 Caracterizações	44
4.5.1 Composição Química da Matéria-Prima	44
4.5.2 Composição Mineralógica da Matéria-Prima	44
4.5.3 Análise Granulométrica por Difração à Laser	45
4.5.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	45
4.5.5 Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimetria (TG)	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1 Análise da Composição Química do RPP	46
5.2 Análise da Composição Mineralógica	47
5.3 Análise de Degradação Térmica	48
5.4 Análise Granulométrica	50

5.5 Microscopia Eletrônica de Varredura	51
6 CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

As cerâmicas brancas se enquadram em um grupo bastante vasto, compreendendo materiais constituídos por um corpo branco e em geral recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor, os quais eram assim agrupados pela cor branca da massa (ABCERAM).

Dentre as cerâmicas brancas, os porcelanatos se destacam, por serem um tipo de revestimento cerâmico fabricado com tecnologia avançada, diferenciando-se dos demais revestimentos em função do seu processo de queima (a temperaturas mais elevadas que os demais materiais dessa categoria), das matérias primas nobres que compõem a sua massa e também pela absorção de água que é baixíssima, sendo $< 0,1\%$ para os porcelanatos técnicos e $< 0,5\%$ para os porcelanatos esmaltados. Este tipo de revestimento cerâmico, que teve origem na Europa (Itália), começou a ganhar destaque no Brasil no começo da década de 90 (CRUZ, 2008).

O Porcelanato foi concebido, inicialmente, para aplicação de pavimento, porém, devido a sua elevada qualidade técnica por meio das suas características, é utilizado em uma gama de aplicações bem mais diversificada, como por exemplo, revestimento em fachada de edifícios, cuja tecnologia possibilita a reprodução da beleza das pedras naturais, mas com características técnicas muito superiores, suportando intempéries ainda piores do que as pedras naturais sem a perda das suas propriedades técnicas (CRUZ, 2008).

Existem dois tipos de porcelanato no mercado: o porcelanato técnico e o porcelanato esmaltado. O técnico é aquele que recebe a decoração e a cor na própria massa através de corantes. Esmaltado é uma massa única que recebe sua cor através da esmaltação e decoração, que através das novas tecnologias, pode ir muito além do que simples formas e desenhos (CRUZ, 2008).

O porcelanato polido requer uma etapa de polimento posterior as etapas de produção quando comparado ao porcelanato técnico, a fim de nivelar, retirar riscos e defeitos e, assim como dar brilho à superfície do produto final. Essa etapa do processamento gera grandes quantidades de resíduo, sendo cada vez mais crescente com o aumento da produção que vem ocorrendo nos últimos anos (BREITENBACH *et al.*, 2017).

O resíduo do polimento do porcelanato (RPP), então, é o material formado durante a etapa de polimento, sendo constituído de uma mistura de material cerâmico proveniente do porcelanato e material abrasivo, oriundo das máquinas polidoras, geralmente composto por partículas de diamante ou carbeto de silício aglomerados por cimentos à base de cloretos magnesianos. Ele é descartado diretamente em aterros, apesar do seu potencial de aplicação (BREITENBACH *et al.*, 2017).

Por isso, hoje em dia, há muitos estudos que utilizam potencialmente o RPP, como carga em diversos contextos, por exemplo: na incorporação de formulações para produção de blocos estruturais e telhas, e como agregado leve em argamassas e concretos, entre outras aplicações. Isso faz com que haja a reutilização desse resíduo e, na grande maioria das vezes, o melhoramento das propriedades em outros materiais, bem como o barateamento de suas produções, uma vez que cada vez mais, o descarte do RPP está sendo fiscalizado, pois afeta diretamente a natureza, como exemplo, na contaminação dos lençóis freáticos em várzeas de rios onde é descartado.

O RPP se mostra, então, como um resíduo com possível utilização para diversas finalidades, sendo uma delas, e que é proposta por esse trabalho, sua utilização como agregado leve, podendo, potencialmente, substituir os agregados convencionais parcial ou até totalmente. O resíduo é chamado de agregado reciclado, e deve apresentar porosidade elevada e menor densidade, porém, são mais heterogêneos, dificultando a uniformidade de suas propriedades, e consequentemente menos resistentes. Devido a vários fatores, a produção de concreto leve com agregados reciclados se mostra ainda em avanço, entretanto com alto potencial (GOMES *et al.*, 2015), logo, pode-se avaliar o RPP como um potencial material de utilização como agregado reciclado (BREITENBACH *et al.*, 2017; FERRARI *et al.*, 200). No entanto, para que isso seja possível, ainda se fazem necessários a realização de ensaios com o material reciclado incorporado ao concreto que se deseja produzir, e as suas respectivas caracterizações, estando a sua utilização dentro das normas requeridas.

No presente trabalho, analisou-se a ação das altas temperaturas de queima na expansão e formação de poros causada no resíduo do polimento do porcelanato, e, consequentemente, o seu potencial de ação como agregado leve. Porém não houve a sua incorporação em nenhum traço de concreto leve, sendo estudado apenas o resíduo 100% puro, servindo de incentivo para posteriores incorporações, visando o seu reaproveitamento, contribuindo assim, para a diminuição dos impactos ambientais

negativos que tanto prejudicam a implantação da ISO 14001, além da melhoria do custo benefício para indústrias produtoras de concreto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento do resíduo do polimento do porcelanato (RPP) em diferentes temperaturas de queima (1090, 1120, 1150 e 1180°C) a fim de verificar sua potencial utilização como agregado leve.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Caracterizar o RPP pelas técnicas de difração de raios X (DRX), análise térmica diferencial (ATD), termogravimetria (TG), fluorescência de raios X (FRX) e análise granulométrica a laser (AG).
- Verificar o comportamento de expansão após a queima dos corpos de prova conformados via prensagem uniaxial;
- Determinar as fases cristalinas e morfologia dos corpos de prova queimados, pelas técnicas de DRX e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Revestimentos Cerâmicos

A cerâmica de revestimento é uma mistura de argila e outras matérias-primas inorgânicas (fundentes), queimadas em altas temperaturas (ABCERAM, 2007). A massa cerâmica dos porcelanatos exige uma proporção de feldspato, usado como material fundente, de até 50%. Utilizada em larga escala para fins de arquitetura e decoração, este segmento engloba azulejos, pisos, ladrilhos, pastilhas, e produtos de formato regular, que permitem o maior grau de automação industrial (MOTTA, 2001; KUMMER, 2007).

A indústria de revestimentos no Brasil surgiu a partir de antigas fábricas de tijolos, blocos e telhas, que no início do século XX começaram a produzir ladrilhos hidráulicos e, posteriormente, azulejos e pastilhas cerâmicas e de vidro. Mas foi só no início dos anos 70 que a produção atingiu uma demanda continuada, fazendo com que essa indústria ampliasse significativamente a sua produção, acompanhado do surgimento de novas empresas (GORINI & CORREA, 1999).

O Brasil é um dos principais líderes mundiais na produção de revestimentos cerâmicos, assumindo a segunda maior posição na produção e consumo de revestimentos cerâmicos, quarto exportador mundial e segundo maior exportador para o mercado norte-americano, sendo este último o maior importador do mundo em produção e consumo (ANFACER, 2010).

Segundo a ANFACER (2018), em 2016, foram produzidos 792 milhões de metros quadrados para uma capacidade instalada de 1.048 milhões de metros quadrados fabril. As vendas totais atingiram aproximadamente 800,3 milhões de metros quadrados, dos quais 706 milhões de metros quadrados foram vendidos no mercado interno e 94,3 milhões de metros quadrados exportados.

As placas cerâmicas são constituídas de uma grande variedade de matérias-primas, que se apresentam em dois tipos principais: os materiais argilosos (plásticas), aqueles que possuem a propriedade de se deformar sem romper pela aplicação de uma tensão, permanecendo a deformação quando a tensão aplicada é retirada, e os não-argilosos (ou, não plásticas), que servem para a redução da plasticidade da massa cerâmica (FERNANDES, 2002; FERRARI, 2000 e LORENZI, 2005).

Os materiais argilosos são essenciais na fase de conformação, ou seja, a parte plástica da composição confere ao material trabalhabilidade, logo, são utilizados na produção da massa cerâmica em suspensão (na presença de água), chamada de barbotina, que depois de atomizada – retirada a água- e sob forma de pó, é prensada ou moldada, conferindo o formato final da peça. As principais matérias-primas plásticas utilizadas no preparo das massas de revestimentos são argilas plásticas (queima branca ou clara), caulim e argilas fundentes (queima vermelha) (MELO *et al.*, 2006).

Já os materiais não-argilosos são utilizados em mistura com argilas, quando estas não os contêm ainda, atuando mais na fase do processamento térmico, como fundentes servem para formar o esqueleto do corpo cerâmico (conhecido como biscoito) ou para promover a fusão da massa. Os compostos minerais normalmente utilizados são quartzo, feldspato potássico e sódico, e calcário (GORINI *et al.*, 1999).

3.2 A indústria de Revestimentos Cerâmicos

A indústria cerâmica brasileira tem grande importância para o país, tendo participação no PIB – Produto Interno Bruto – da ordem de 1,0%. O Brasil conta com uma população em torno de 180 milhões de habitantes que geograficamente estão mais concentrados nas regiões sul e sudeste, regiões nas quais também se encontram o maior número de habitantes nas zonas urbanas (ANFACER, 2018).

A cerâmica de revestimento é um dos segmentos mais importantes e apresenta crescente desempenho tecnológico. É representado por unidades industriais, produzindo azulejos, pisos e revestimentos de paredes externas (CONSTANTINO *et al.*, 2006).

No Brasil, é um setor constituído por 94 empresas e 117 plantas industriais instaladas com uma produção de 713,4 milhões de metros quadrados, para uma capacidade instalada de aproximadamente 785 milhões de metros quadrados (OLIVEIRA *et al.*, 1998; CONSTANTINO *et al.*, 2006).

No setor das cerâmicas de revestimento, o porcelanato é um material de destaque, que se utiliza para o revestimento de solos e paredes. Este produto é fabricado a partir de uma combinação de minerais argilosos (argilas, caulins, etc.) e não argilosos (feldspato, quartzo, talco, etc.), podendo serem moldados por prensagem, secados e queimados a temperaturas de mais de 1.300 °C, tendo como resultado uma peça compacta e vitrificada, com uma grande resistência ao desgaste e absorção de água muito baixa. Deste modo, o

porcelanato apresenta vantagens que não se podem encontrar nos revestimentos cerâmicos tradicionais (BUSTAMANTE, et al., 2010; ANFACER, 2018).

3.3 Processamento dos Revestimentos Cerâmicos

O processamento cerâmico está dividido em, basicamente, quatro etapas, são elas: coleta e preparação da matéria-prima; conformação da peça cerâmica; secagem; e queima (OLIVEIRA et al., 2006).

A maior parte das matérias-primas utilizadas na indústria de cerâmicas de revestimento é natural, encontrando-se em depósitos espalhados na crosta terrestre. Após a mineração, os materiais devem ser beneficiados, isto é, desagregados ou moídos, classificados de acordo com a granulometria e muitas vezes também purificadas. O processo de fabricação, propriamente dito, tem início somente após essas operações. As matérias-primas sintéticas geralmente são fornecidas e prontas para uso, necessitando apenas, em alguns casos, de um ajuste de granulometria. As principais matérias-primas são o feldspato (particularmente os potássicos), a sílica e a argila. Além destes três principais componentes, as cerâmicas podem apresentar aditivos para o incremento de seu processamento ou de suas propriedades finais (MELO et al., 2006; LUZ et al., 2008).

Após a preparação da matéria-prima, há o processo de conformação das peças cerâmicas que podem ser feitas por diversos métodos, dependendo da forma desejada, das propriedades requeridas para o produto final e da matéria-prima utilizada- os processos podem ser: colagem, prensagem, extrusão ou torneamento. Em seguida há a etapa da secagem, para evitar tensões e, conseqüentemente, defeitos nas peças, é necessário eliminar essa água, de forma lenta e gradual, em secadores intermitentes ou contínuos, a temperaturas variáveis entre 50 °C e 150 °C. Por fim, há a etapa de queima que é essencial e imprescindível para que os materiais produzidos adquiram as suas propriedades finais.

As peças, após secagem, são submetidas a um tratamento térmico a temperaturas elevadas, que para a maioria dos produtos situa-se entre 800 °C a 1700 °C, em fornos contínuos ou intermitentes que operam em três fases: aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura desejada; patamar durante certo tempo na temperatura especificada; resfriamento até temperaturas inferiores a 200 °C. O ciclo de queima compreende três fases, dependendo do tipo de produto, podendo variar de alguns minutos até vários dias, como podemos ver no esquema representado na Figura 1. Durante esse tratamento ocorre uma série de fenômenos em função dos componentes da massa, tais

como: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea e a sinterização. Portanto, em função do tratamento térmico e das características das diferentes matérias-primas é possível obter produtos para as mais diversas aplicações (ANFACER, 2018).

O processo de produção do porcelanato, especificamente, abrange três estágios principais:

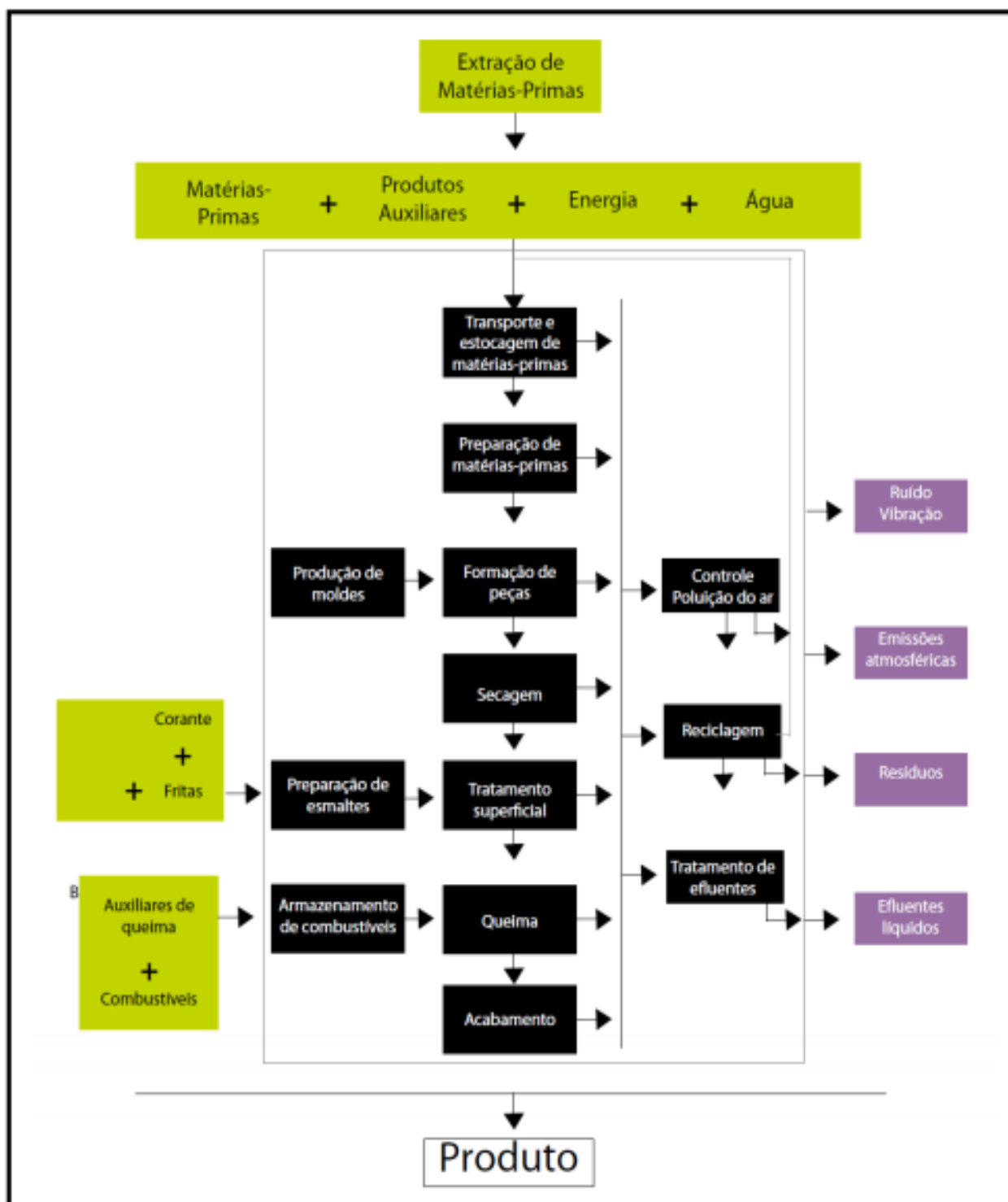
- 1) Moagem a úmido e homogeneização das matérias-primas, seguida de secagem da suspensão resultante pelo processo de atomização (spray drying);
- 2) Prensagem uniaxial entre 35-45 MPa do pó atomizado contendo entre 5 e 7% de umidade;
- 3) Queima rápida entre 35-60 min (frio a frio) com temperatura máxima entre 1180-1230 °C para obtenção da máxima densificação (SÁNCHEZ et al., 2009).

No início de sua fabricação, o porcelanato era produzido a 1200 °C em longos períodos que variavam de 40 a 50 h sendo, portanto, um processo extremamente lento. Entre 1970 e 1980, com o contínuo desenvolvimento da tecnologia, conseguiu-se diminuir os ciclos de queima a valores muito menores por meio da alteração da formulação deste produto, sendo possível chegar, dependendo do formato, a valores de 35 a 90 min. Esse novo ciclo de queima tornou-se próximo aos encontrados em revestimentos cerâmicos tradicionais, que apresentam temperatura de queima variando de 1180 °C a 1250 °C (BAUCIA *et al.*, 2010).

Normalmente, a maioria dos produtos cerâmicos é retirada dos fornos, inspecionada e remetida ao consumo. Alguns produtos, no entanto, requerem processamento adicional para atender a algumas características, não possíveis de serem obtidas durante o processo de fabricação. O processamento pós-queima recebe o nome genérico de acabamento e pode incluir polimento, corte, furação, entre outros (ANFACER, 2018).

Porém, pode-se ainda destacar como etapas do processamento, a coloração da massa nos porcelanatos não esmaltados, a aplicação de esmaltes e a decoração com técnica de sais solúveis (OLIVEIRA et al., 1998; BAUCIA et al., 2010).

Figura 1: Fluxograma genérico do processamento das indústrias cerâmicas.



Fonte: Oliveira *et al.* (2006).

3.4 O Porcelanato

Dentro do grupo das cerâmicas para revestimento encontra-se o porcelanato, conhecido também como grês porcelanato, ou ainda chamado de granito cerâmico, ou grês fino porcelanato (MENEZES *et al.*, 2002). Esta nomenclatura se deve ao fato de que grês porcelanato é derivado de “gres”, que denomina materiais cerâmicos com estrutura compacta, caracterizados por uma fase cristalina imersa em uma matriz vítrea predominante, e “*porcellanato*”, termo que se refere às características técnicas deste produto similares à da porcelana (SALEM *et al.*, 2009).

O porcelanato é um produto cerâmico prensado, com absorção de água menor ou igual a 0,5%. Ele possui elevada resistência mecânica, ao risco e ao ataque químico, podendo ser ou não decorado superficialmente. No mercado atual, o porcelanato é classificado como esmaltado ou técnico (polido ou não), sendo que para o esmaltado admite-se uma absorção de água até 0,5%, porém, para o porcelanato técnico essa absorção deve ser menor ou igual a 0,1% (ROSSO *et al.*, 2005; BERNARDIM *et al.*, 2006; MARQUE *et al.*, 2007).

O porcelanato polido é o mais produzido comercialmente, ele requer uma etapa de polimento durante sua produção a fim de nivelar, retirar riscos e defeitos, além de dar brilho a superfície do produto final. Entretanto, essa etapa do processamento gera grande quantidade de resíduo, particularmente com o aumento de produção que vem ocorrendo nos últimos anos. O que origina um novo custo aos produtores do setor, que necessitam gerenciar e descartar adequadamente esse resíduo. Diferentemente do porcelanato esmaltado, que para seu acabamento final recebe uma camada de esmalte vidrado (BERNARDIM *et al.*, 2006).

3.4.1 A Composição Dos Porcelanatos

O porcelanato é caracterizado por uma microestrutura densa, constituída por fases cristalinas, mulita e quartzo, em quantidade minoritária, imersas em uma fase vítrea majoritária (CAMPAGNARO *et al.*, 1998; BERNANDIN *et al.*, 2010).

Uma massa de Grês Porcelanato é composta basicamente por uma mistura de argilas, feldspatos, areias feldspáticas e, às vezes, caulins, filitos e aditivos, quando necessários, os corpos de grês porcelanato são comumente constituídos de aproximadamente 55-65% de uma matriz vítrea, 20-25% de quartzo e 12-16% de mulita,

na Tabela 1, podemos ver as composições utilizadas na maioria dos porcelanatos (LUZ *et al.*, 2008). Atualmente, a partir da norma NBR 15463, Norma Brasileira de Porcelanato, todas as denominações foram simplificadas e adotadas simplesmente pela palavra porcelanato (BIFFI, 2002). O porcelanato é a tendência atual em produto cerâmico para revestimento que apresenta características técnicas e estéticas distintas das demais cerâmicas esmaltadas tradicionais (OLIVEIRA, 2006).

Tabela 1: Composições típicas e análises químicas de massas cerâmicas para porcelanatos.

Composições	1	2	3	4	5	6
Argila	38	41	45	35	30	35
Feldspato	40	16	35	45	50	38
Caulim	12	8	-	-	-	15
Areia	10	35	20	20	20	12
Feldspática						
SiO ₂	68,8	70,6	69,4	70,2	70,5	67,8
Al ₂ O ₃	19,9	18,6	19,0	18,3	17,1	20,4
K ₂ O + Na ₂ O	5,6	4,9	6,1	5,7	5,3	4,0
Fe ₂ O ₃	0,6	0,5	0,7	0,5	0,6	0,4
CaO + MgO	0,5	0,5	0,6	0,7	1,2	0,5
P.F.	3,8	3,6	3,3	3,5	3,8	3,7

Fonte: Salem, A. *et al.*, (2009).

A argila é a principal matéria-prima para a produção de revestimentos cerâmicos, com alta plasticidade quando úmida e elevada resistência quando seca e queimada (OLIVEIRA, 2006). A composição química dos porcelanatos apresenta em média 70% de SiO₂, 20% de Al₂O₃ e o restante de fundentes, como K₂O, Na₂O, CaO, MgO, além de impurezas, como Fe₂O₃, TiO₂ (PINHEIRO 2006).

Os feldspatos desempenham nas massas de porcelanato uma função de fundentes, já que proporcionam as primeiras fases líquidas que aparecem durante a queima. Estas fases líquidas contornam as partículas mais refratárias, aproximando-as por meio das forças de tensão superficial que são geradas nos poros mais finos, fato que gera contração da peça. Desta maneira, os feldspatos são os responsáveis iniciais do processo de densificação, o qual contribui majoritariamente para a densificação das peças e,

consequentemente, para as propriedades desejadas do porcelanato, ou seja, pela diminuição da porosidade das peças cerâmicas, abaixando os índices de absorção de água (LUZ, 2008; OLIVEIRA, 1998; BAUCIA *et al.*, 2010), e consequentemente aumentando os valores de resistência mecânica, e resistência ao desgaste dos revestimentos cerâmicos. A relação Na/K, é de grande importância, pois cada um dos compostos influenciam de formas diferentes, e suas utilizações devem estar de acordo com as propriedades requeridas para o porcelanato final, sendo esses componentes químicos presentes através da albita (feldspato sódico- Na) e do ortoclásio (feldspato potássico-K). A albita favorece a formação da fase líquida, diminuindo a temperatura de sinterização, assim, os revestimentos, sejam porcelanatos ou grés, que se utilizam deste fundente, apresentam maior resistência mecânica e menor absorção de água, mas com maior retração linear, enquanto a adição do ortoclásio, aumenta a porosidade do material, não sendo tão eficaz na densificação dos porcelanatos (FERRARI *et al.*, 2000; CHATTERJEE *et al.*, 2001).

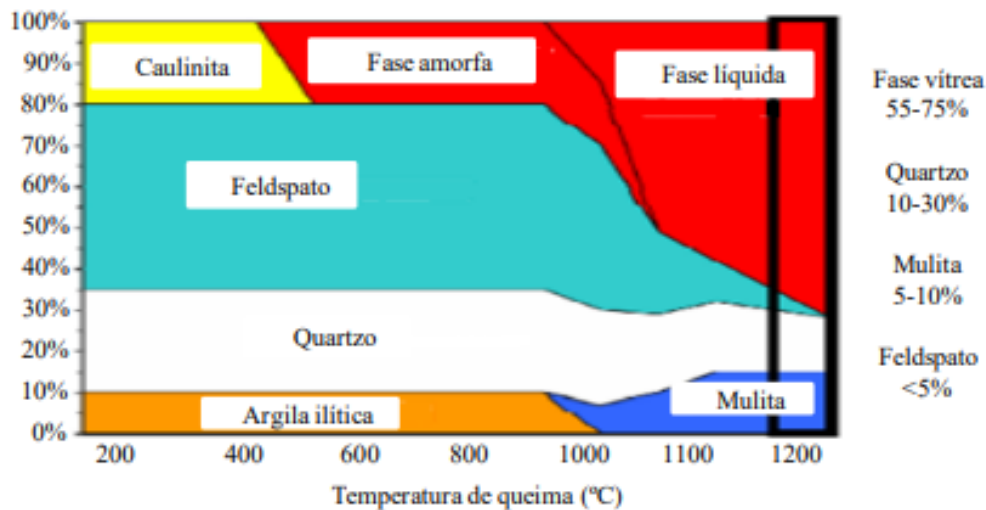
Os filitos, também são compostos fundentes sendo constituídos por caulinita $[Al_2(Si_2O_5)(OH)_4]$, quartzo (SiO_2) e mica $[Al_2K(Si_1,5AlO,5O_5)2(OH)_2]$, utilizados para substituição parcial dos feldspatos, devido ao alto teor de potássio que pode ser encontrado. Os filitos têm baixo resíduo, possibilitando seu uso sem praticamente nenhum beneficiamento prévio na composição de massas cerâmicas, em quaisquer que sejam as finalidades (FERRARI. *et al*, 2000).

Os caulins são ricos em alumina (Al_2O_3), que além de conferirem brancura à massa, durante a fase de vitrificação da massa cerâmica torna-se um regulador do equilíbrio das reações, podendo tomar parte na formação de uma fase vítrea em associação com elementos alcalinos fundentes, ou também é encontrada, predominantemente no final da queima, como mulita ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) que, pela sua estrutura em forma de agulhas, atua como um “esqueleto” aos produtos obtidos, contribuindo para o aumento da resistência mecânica (MARQUES *et al.*, 2012; BIFFI, 2002) .

A Figura 2 demonstra graficamente as transformações que acontecem na queima e as fases resultantes. Durante a queima, matérias-primas que contenham minerais alcalinos, ilita e feldspato produzem fase líquida. Com o aumento da temperatura ocorre a diminuição da viscosidade, reduzindo assim progressivamente a porosidade por força de capilaridade. O quartzo se dissolve parcialmente na fase líquida e uma nova fase cristalina se forma, a mulita (SÁNCHEZ *et al.*, 2001). A estrutura resultante das

transformações é uma fase vítrea abundante com partículas cristalinas de quartzo e mulita que não se dissolveram, restando ainda feldspato não fundido totalmente.

Figura 2: Demonstrativo das transformações durante a queima de uma placa de porcelanato.



Fonte: Salem, A. *et al.* (2009).

3.4.2 O Polimento Do Porcelanato

O processo de polimento que ocorre após a queima do material, consiste em um equipamento dotado de várias cabeças polidoras compostas de materiais abrasivos, que em contato com as peças em alta rotação, e velocidade controlada, em presença de água, executam o polimento. À medida em que a peça passa pela máquina, os abrasivos usados apresentam gradativamente uma granulometria mais fina, até conseguir-se o resultado desejado: uma superfície lisa e brilhosa (CAMPAGNARO *et al.*, 1999). A Figura 3, mostra a etapa do polimento realizada na indústria.

Figura 3: Etapa do polimento do porcelanato: equipamento utilizado na indústria.



Fonte: Souza (2007).

A primeira parte da polidora (Figura 4) é responsável pelo desgaste acentuado da peça, ou seja, onde se dá o nivelamento da superfície da peça, com abrasivos diamantados e magnesianos de granas grossas (100 mesh a 200 mesh) . A segunda etapa é responsável em realizar a preparação para o polimento. Cada cabeça tem a finalidade de apagar os riscos (ranhuras) deixados pelas cabeças anteriores e deixar a peça totalmente uniforme (lisa). As granas utilizadas são de 240 mesh a 700 mesh. A terceira etapa é o polimento propriamente dito. Na peça não existem mais riscos e a mesma começa a receber o brilho. Utiliza-se normalmente granas de 800 mesh a 3000 mesh (ROSSO *et al.*, 2005; SOUZA, 2007).

Figura 4: Cabeças polidoras abrasivas.



Fonte: Souza (2007).

A pureza das matérias-primas utilizadas na fabricação dos abrasivos é de fundamental importância para a qualidade dos mesmos e também para um polimento de qualidade. Outro elemento importante para um bom polimento é a água, sua qualidade e quantidade utilizada. A água é distribuída na máquina em cada cabeça polidora e tem a função principal de diminuir o atrito entre os abrasivos e a peça, refrigerando o local e retirar os resíduos gerados que poderiam ficar sobre as peças, causando riscos e arranhões.

Como a quantidade utilizada em uma unidade de polimento é muito elevada (cerca de 4000 l), existe a necessidade de recirculação em circuito fechado para reaproveitamento (Figura 5). Com este procedimento, torna-se necessário um tratamento químico/físico na água para posterior decantação dos resíduos do polimento e filtro-prensagem. (CAMPAGNARO *et al.*, 1999; MARQUES *et al.*, 2012; BERNARDIN *et al.*, 2006).

Figura 5: Sistema de tratamento da água, e resíduo do polimento do porcelanato.



Fonte: Souza (2007).

No entanto, essa etapa do processamento gera grande quantidade de resíduo, particularmente com o aumento de produção que vem ocorrendo nos últimos anos. O que origina um novo custo aos produtores do setor, que necessitam gerenciar e descartar adequadamente esse resíduo (MENEZES *et al.*, 2005).

3.4.2.1 O Resíduo Do Polimento Do Porcelanato (RPP)

Resíduo é todo o material descartado produzido durante o processo de fabricação, o qual, na maioria das vezes não é reutilizado, mas sim descartado (SOUZA, 2007).

O resíduo do polimento do porcelanato é constituído por uma mistura de material cerâmico oriundo do processo de polimento do porcelanato e material abrasivo desprendido das cabeças polidoras. Este material abrasivo utilizado durante o polimento é geralmente composto por partículas de diamante ou carbeto de silício aglomerados por cimentos à base de cloretos magnesianos. O que evidencia que o resíduo é constituído basicamente por material cerâmico, entretanto ele é descartado diretamente em aterros (BERNARDIN *et al.*, 2006).

A deposição de resíduos industrial em aterros, além dos elevados custos, pode trazer inúmeros problemas ambientais, como a contaminação do solo, do lençol freático e agressão a vegetação presente no local. Nesse sentido a reutilização e a reciclagem são as soluções mais indicadas para o manejo da grande maioria dos resíduos industriais, incluindo o resíduo do polimento do porcelanato, possibilitando a redução dos custos, preservando recursos naturais não renováveis, diminuindo a carga de poluentes lançados no meio ambiente e reduzindo os impactos ambientais e efeitos danosos à saúde humana causados pelo descarte indiscriminado de resíduos na natureza (ANDREOLA *et al.*, 2002; TORRES *et al.*, 2004; GOMES *et al.*, 2015).

A inserção dos resíduos num ciclo produtivo representa uma opção de recuperação alternativa desses materiais, o que é interessante tanto no aspecto ambiental, como no econômico. Nesse sentido, a indústria cerâmica vem demonstrando grande potencial para a reutilização de resíduos inorgânicos, particularmente os da própria indústria cerâmica e os do beneficiamento mineral (OLIVEIRA, 1998)

O potencial de incorporação de resíduos nas formulações de cerâmicas tradicionais, aliado às elevadas quantidades de recursos naturais consumidos a cada dia por esse segmento industrial, destaca a importância da reutilização de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas, racionalizando o uso dos recursos naturais (CONSTANTINO *et al.*, 2018).

A diminuição gradual na abundância dos recursos minerais, causou a recente tendência em substituir minerais por matérias-primas alternativas que estão disponíveis em abundância, como os resíduos industriais. O que está em acordo com a abordagem ambiental mais recente, que objetiva o desenvolvimento sustentável e enfatiza que o gerenciamento dos resíduos é uma das questões mais importantes tanto para a saúde pública como para o desenvolvimento industrial no século XXI (MOTTA *et al.*, 2001).

3.4.2.2 A Reciclagem Do Resíduo Do Polimento Do Porcelanato

A reciclagem teve seu início a partir da revolução industrial, que trouxe consigo a geração de grande quantidade de resíduos, devido ao aumento da produtividade mundial, e conseqüentemente o aumento de materiais e produtos descartados com a intensificação do consumo. Atualmente, a reciclagem é uma grande e bem fundamentada indústria, com uma enorme variedade de materiais sendo coletados, separados, processados e

comercializados em todo o mundo. Entre esses materiais, destacam-se os resíduos sólidos em virtude do enorme potencial ambiental e econômico de sua reciclagem.

A reciclagem é portanto definida como a maneira de reutilizar rejeitos como fontes de matérias-primas, ou parte delas, para a produção de um novo produto. Como o consumo de recursos naturais e energia tem crescido a medida do crescimento da população mundial, há uma preocupação ambiental quanto ao consumo excessivo, ou ineficiente dos recursos naturais não renováveis, bem como com o descarte de materiais nocivos ao meio ambiente (SANTOS *et al.*, 2008).

O desenvolvimento dessa prática de reciclagem busca melhoria da qualidade de vida no aspecto ambiental, reduzindo os resíduos gerados pelas atividades industriais, bem como minimiza os custos das empresas, uma vez que a geração de resíduos gera custos com tratamentos e descarte em locais apropriados e regulamentados. Assim, as empresas estão se conscientizando de que a geração de resíduos está associada a elevados custos.

Portanto, a melhoria da qualidade ambiental está intimamente relacionada à redução de resíduos gerados pela atividade industrial, originando assim o movimento mundial pela reciclagem (FERNANDES, 2002).

Por isso, a ideia de utilizar matérias-primas alternativas vem de encontro com os interesses de muitas indústrias que buscam um destino ecologicamente correto para seus subprodutos industriais.

Silva (2005), corrobora, observando que a reciclagem alcança resultados benéficos tanto no aspecto ambiental, quanto no aspecto econômico e social, como por exemplo:

- Redução da quantidade de resíduos enviados para locais apropriados de descarte, economizando gastos com transportes adequados e reduzindo áreas degradadas nocivas ao meio ambiente;
- Economia de recursos naturais;
- Melhoria da imagem da empresa pra os seus clientes, usando uma imagem de ecologicamente correta;
- Redução de custos industriais com a incorporação de resíduos em seus processos produtivos.

Ou seja, a reciclagem, é, sem dúvidas, para redução do impacto ambiental gerado, tanto pela exploração acelerada de matérias primas não renováveis, bem como o descarte

de resíduos industriais nocivos ao meio ambiente, e nos últimos anos, essa alternativa vem sendo fomentada por questões políticas, econômicas, ecológicas e sociais (SANTOS *et al.*, 2008).

Inúmeros estudos já foram, e são atualmente realizados sobre a incorporação de diferentes resíduos industriais em massas cerâmicas para produção de novas peças, conseguindo assim aproveitar ao máximo o potencial destes materiais, que se não fossem reutilizados, poderiam ser colocados inadequadamente no meio ambiente.

Marques *et al.* (2007), promoveu um estudo do reaproveitamento do resíduo do polimento do porcelanato para incorporação em massas cerâmicas comercialmente industriais, onde o resíduo foi adicionado em proporções de 1, 3 e 5% em massa, observando-se após a queima fases cristalinas provenientes do resíduo, tal como a sílica, e ainda a periclase (MgO), proveniente do abrasivo do processo de polimento, logo conclui-se que o resíduo apresenta uma distribuição granulométrica semelhante à das matérias-primas convencionais utilizadas na indústria; a adição de 3 e 5% de resíduo na formulação comercial reduziu a temperatura ótima de queima em 25 e 50°C, respectivamente e provocou um leve aumento na densidade aparente dos corpos de prova. Assim como Santos (2012), concluiu que por possuírem as mesmas fases cristalinas (porcelanato e resíduo do polimento do porcelanato), fase vítrea e fundentes, ele poderá ser usado como matéria prima na produção do porcelanato, pois fornecerá a densificação de revestimentos cerâmicos.

Reis (2017), estudou a incorporação de 2, 6, 10 e 14 % em massa, do resíduo em uma formulação padrão de massa cerâmica vermelha, do qual, verificou-se, que a sílica livre reduz a plasticidade e o trincamento, assim como diminui a retração e facilita a secagem. A alumina, conforme o tipo, pode aumentar ou diminuir o ponto de fusão e reduzir a plasticidade, a resistência mecânica e também as deformações. Ele concluiu que a porcentagem de utilização de 2% de massa de resíduo na formulação padrão apresentou resultados dentro de todas as normas para a confecção de blocos, enquanto as outras formulações não permitiram que os materiais produzidos a partir delas, estivessem dentro de todas as normas requeridas.

Santos (2008), analisou a inserção de resíduos minerais, na produção de argamassa para a construção civil, uma vez que é uma das indústrias que mais consomem matérias-primas naturais, sendo o cimento o insumo básico dessa indústria. Por isso, esse setor vem buscando fazer o uso de materiais mais resistentes e duráveis e de menores custos, tendo como objetivo a viabilidade da substituição parcial do cimento por resíduos,

nas argamassas, sem que haja danos as propriedades da mesma. E essa utilização de resíduos minerais têm demonstrado ser muito importantes nos materiais que possuem matrizes cimentícias, principalmente por conferir melhores propriedades tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido, e ainda conferindo maior durabilidade e resistência. A incorporação de resíduos minerais nessas composições, pode proporcionar economia de energia e contribuir para a causa sustentável.

Leite (2001), analisou comparativamente concretos convencionais, com concretos com agregado reciclado sendo realizando a produção com pré-molhagem e com compensação de água da mistura, pois os estudos apontaram que o uso de agregados reciclados secos absorvem parte considerável da água e afetam negativamente a trabalhabilidade, concluíram que ambos os métodos de produção interferem pouco na resistência à compressão e evitam que a absorção de água do agregado reciclado afete a consistência do concreto. O método de compensação de água da mistura tem a vantagem de tornar possível a produção de concreto com agregado reciclado de maneira semelhante à do concreto convencional.

Breitenbach (2017), observou o potencial de incorporação desse resíduo argamassas de restauro a base de cal, uma vez que há nesse resíduo as propriedades adequadas, como baixa densidade, partículas finas, que incorporadas a tais materiais agregarão nas propriedades mecânicas, na resistência ao desgaste e as intempéries, e ainda haverá a reciclagem e reutilização de resíduos nocivos à natureza. Para o estudo utilizou-se concentrações entre 5 e 30%, que foram estudadas quanto ao comportamento comparado ao da argamassa padrão. Os resultados mostraram que a substituição de areia por RPP resultou em maior densidade e compacidade devido a diminuição no teor de ar incorporado. As argamassas com concentrações de RPP entre 10 e 20% apresentaram melhores propriedades no estado endurecido, com ganho em retração livre, maior resistência mecânica e aderência. A adição de RPP em substituição parcial da areia resultou em argamassas com melhor desempenho que sugere maior durabilidade, contribuindo para o restauro arquitetônico e preservação do patrimônio histórico com menor número de intervenções.

Fernandes *et al* (2003), analisou a utilização de lodo da estação de tratamentos (ETE) de uma indústria de revestimentos cerâmicos para a produção de agregados leves, que são materiais em formas de grãos, geralmente inertes, tendo como função compor formulações de traços de argamassas e concretos, a fim de conferir propriedades, como resistência ao desgaste e intemperismo, e melhorando o custo benefício desses materiais.

Esse tipo de agregado é, normalmente, utilizado na produção de concretos leves, o que identifica que é um material com estrutura porosa, que, quando secos, causam uma expansão no material, podendo atingir resistências mecânicas de moderadas a altas (BREITENBACH *et al.*, 2017). Observou-se, na fase de ensaios laboratoriais, que tal resíduo atua como não-inerte, agindo como matéria-prima fundente, devido à presença de elementos que formam fase vítrea, provenientes das composições de esmalte. Os resultados demonstraram que a incorporação de até 5% de lodo na massa padrão não afetou as características de absorção d'água, retração linear, e resistência mecânica. Os produtos não apresentaram mudança na tonalidade, nem defeito de coração negro, com a introdução do lodo, logo se faz necessário uma análise mais aprofundada para que essa incorporação seja possível no universo industrial.

3.5 Agregados Leves

Os agregados ocupam de 60 a 80% do volume do concreto e além de sua influência quanto à retração e à resistência, o tamanho, a densidade e a forma dos seus grãos podem definir várias das características desejadas em um concreto (SCOBAR, 2018).

Alguns produtos substitutos aos agregados minerais destacam-se, como os reciclados de entulho de demolição, as argilas expandidas (resultantes do cozimento do lodo oriundo do tratamento de esgotos, ou de material argiloso preparado especialmente para esse fim), os rejeitos de produtos siderúrgicos (escórias de alto-forno ou aciaria, contudo a sua quantidade disponível é bem limitada), os resíduos da indústria de plásticos para a fabricação de pré-fabricados leves, os resíduos de pneus triturados para a utilização no concreto e pavimentos, a areia de brita e a areia marinha (LA SERNA; REZENDE, 2009).

A forma mais habitual de se obter concretos leves é introduzindo ar em sua composição, e isso pode ser feito de três maneiras distintas:

- 1) Introduzindo ar especificamente na matriz cimentícia, com gases ou espumas, que reagem criando bolhas de ar e, dessa forma obtêm-se o concreto conhecido como concreto celular ou aerado.
- 2) Produzindo o concreto somente com o aglomerante, água e agregados graúdos, e assim criando-se vazios entre agregados e pasta, esse concreto é conhecido como concreto sem finos, e pode ser utilizado na confecção de painéis divisórios em

edifícios de concreto armado, na construção de estruturas de drenagem e também como sub-base de quadras de esportes.

- 3) Utilizando agregados porosos, como é o caso da argila expandida, para a confecção do concreto e são os únicos que atingem resistência suficiente para serem utilizados com fins estruturais.

Uma das composições no traço de um concreto leve é a presença dos agregados leves, que, quando secos, causam uma expansão no material, formando poros, podendo atingir resistências mecânicas de moderadas a altas (BREITENBACH *et al.*, 2017).

Os agregados leves são materiais em formas de grãos, geralmente inertes, tendo como função compor formulações de traços de argamassas e concretos, a fim de conferir melhores propriedades, como resistência mecânica, resistência ao desgaste e intemperismo, e melhorando o custo benefício desses materiais. Esse tipo de agregado é, normalmente, utilizado na produção de concretos leves, o que identifica que é um material com estrutura porosa, e para isso podem ser realizadas várias técnicas, a fim da formação de vazios (BREITENBACH *et al.*, 2017).

Os agregados leves podem ser classificados de acordo com a sua origem em naturais ou artificiais. Os agregados leves naturais têm pouca aplicação em concretos estruturais, em função da grande variabilidade de suas propriedades e da localização e disponibilidade das jazidas, como exemplos, tem-se a pedra-pomes e o tufo vulcânico (ROSSIGNOLO, 2009).

Outra forma de caracterizar os agregados leves é de acordo com a sua massa específica e sua possível utilização na construção civil. De acordo com o ACI 213R (AMERICAN..., 2003) são três grupos:

- a) Agregados para concretos isolantes: sua utilização resulta em um concreto de massa específica em torno de 300 kg/m³ e 800 kg/m³ e a resistência é desprezível.
- b) Agregados para concretos com resistência moderada: os concretos com esses agregados possuem resistência à compressão entre 7 MPa e 17 MPa e portanto não tem função estrutural e as características de isolamento são intermediárias.
- c) Agregados para concretos estruturais: Resultam em concretos com maior resistência à compressão e são os únicos que podem ser empregados para fins estruturais.

A resistência de concreto mais desejável para a maioria das aplicações estruturais pode ser atingida mediante a expansão dos agregados a quase o dobro do seu volume inicial, e não mais (BREMNER, 1998).

A expansão das matérias-primas naturais pode ser obtida, basicamente, através de dois processos industriais: sinterização ou forno rotativo. A sinterização consiste num processo onde a matéria-prima é misturada com uma quantidade adequada de combustível, que pode ser coque ou carvão moído, e sofre expansão com o aumento da temperatura devido à formação de gases, porém esse método cria poros abertos, o que faz com que o produto resultante absorva mais água (ROSSIGNOLO, 2009). No processo de forno rotativo, a massa de argila se funde formando uma massa viscosa e a outra parte se decompõe liberando gases, derivando um agregado com uma camada de proteção externa e o interior poroso.

Os agregados leves são produzidos pelo tratamento térmico em forno rotativo matérias primas naturais como argila, folhelo, vermiculita e ardósia ou de subprodutos industriais como a cinza volante e a escória de alto forno a uma temperatura de cerca de 1200°C, na qual se decompõem, liberando gases que se expandem para formar um material pirolástico expandido, e mantém essa expansão quando resfriado (BREMNER, 1998, MAYCÁ et al., 2008).

O processo para a produção no método do forno rotativo pode ser dividido em oito etapas, descritas a seguir:

1. Homogeneização: a matéria prima é lançada em um depósito para homogeneização;
2. Desintegração: os torrões de argila são reduzidos a um diâmetro máximo de cinco centímetros;
3. Mistura e nova homogeneização: tem a finalidade de deixar a argila com a trabalhabilidade adequada. É adicionado água e aditivos para melhorar a plasticidade e aumentar a sua expansão;
4. Laminação: a mistura passa por dois cilindros que eliminam os torrões maiores que cinco milímetros;
5. Pelotização: o material é forçado contra uma placa perfurada com orifícios circulares, e são cortados por uma lâmina rotativa;
6. Secagem e queima: considerada a parte mais importante do processo, ocorre no forno rotativo. Na primeira fase, ocorre a secagem das esferas de argila. Na zona de combustão, o forno atinge a temperatura prevista para expansão das esferas, geralmente entre 1000°C e 1350°C.
7. Resfriamento: geralmente é utilizado um cilindro, na saída do forno, no qual é soprado ar por ventiladores. O ar quente é reaproveitado no interior do forno;

8. Classificação e estocagem final: os agregados leves são classificados em peneiras vibratórias e armazenados para comercialização. (ROSSIGNOLO, 2009)

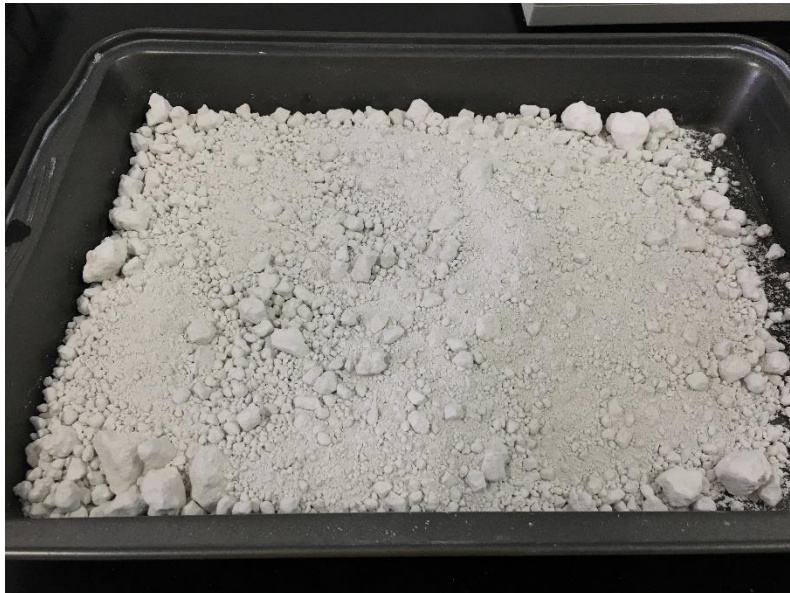
4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Materiais Cerâmicos do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

4.1 Seleção Da Matéria-Prima

O material utilizado para o presente trabalho foi cedido por uma empresa local, fabricante de porcelanatos polidos, cujo o resíduo da etapa do polimento foi disponibilizado para este estudo, como mostra a Figura 6.

Figura 6: Resíduo do polimento do porcelanato utilizado no presente trabalho.



Fonte: Arquivos da autora (2018).

4.2 Beneficiamento Da Matéria-Prima

O resíduo do polimento do porcelanato foi inicialmente moído em um moinho de bolas modelo CT-241 da marca Servitech (Figura 7), para que houvesse o destorroamento dos aglomerados. Para isso foram utilizadas bolas de alumina, e um tempo de 5 minutos.

Figura 7: Moinho de bolas, utilizado na moagem do RPP.



Fonte: Arquivos da autora (2018).

Após a moagem, o material foi peneirado em uma peneira de Mesh 170 (Figura 8 a), sem que houvesse seleção de materiais, apenas para fins de homogeneização, obtendo um produto final como pó fino, como mostra a Figura 8 b.

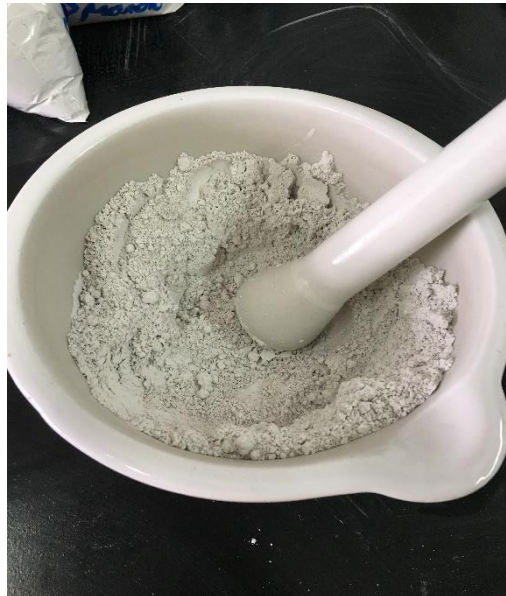
Figura 8: a) Peneira de Mesh 170 utilizada para homogeneização do resíduo; b) RPP após o peneiramento- material homogêneo.



Fonte: Arquivos da autora (2018).

Em seguida, foi preparada uma quantidade necessária de material com 8% de umidade para a produção de 8 corpos de prova, com 13 gramas, cada. A água então foi adicionada, e o material foi misturado em um almofariz com o auxílio de um pistilo, ambos de porcelana, como mostrado na Figura 9.

Figura 9: Resíduo com umidade para a produção dos corpos de prova.



Fonte: Arquivos da autora (2018).

4.3 Conformação

Os corpos de prova foram, então, conformados em uma matriz metálica de formato retangular, via prensagem uniaxial através de uma prensa hidráulica (Figura 10). Para isso utilizou-se uma carga de 3 toneladas. Após a colocação da carga foi dado um alívio de 10 segundos, recolocando a carga em seguida, e havendo uma permanência de mais 30 segundos para o posterior desmolde do corpo de prova.

Figura 10: Prensa hidráulica, utilizada para a conformação dos corpos de prova.



Fonte: Arquivos da autora (2018).

As amostras conformadas (Figura 11) foram medidas, com paquímetro digital (comprimento, largura, espessura), e pesadas em balança de precisão. Em seguida, colocadas em uma estufa a 110°C por 24 horas, para que houvesse a perda da umidade. Posteriormente foram realizadas novas medições e pesagens, dessa vez com elas secas, obtendo assim, a retração linear de secagem do material.

Figura 11: Amostras de RPP conformadas por prensagem uniaxial.



Fonte: Arquivos da autora (2018).

4.4 Queima

Os corpos de prova foram queimados em forno elétrico tipo mufla, Fortelab (Figura 12), em 4 temperaturas distintas: 1090, 1120, 1150 e 1180 °C utilizando uma taxa de aquecimento de 10 °C por minuto e permanência de 30 minutos após alcançar a temperatura final.

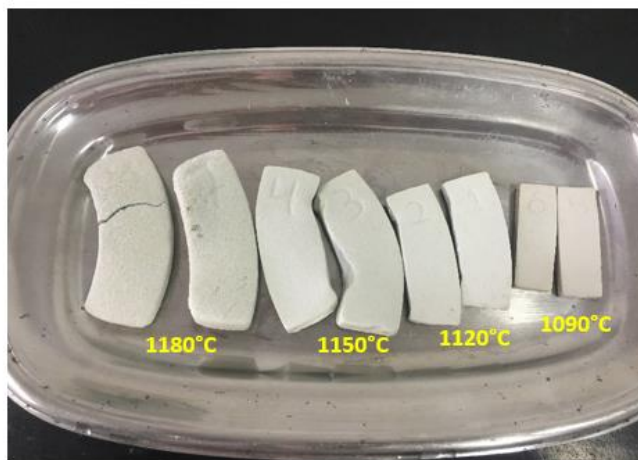
Figura 12: Forno utilizado para a queima das amostras.



Fonte: Arquivos da autora (2018).

Ao serem retirados do forno (Figura 13), novas medições foram realizadas, para os cálculos da retração ou expansão dos corpos de prova submetidos as diferentes temperatura.

Figura 13: Amostras queimadas: 1180 °C, 1150 °C, 1120 °C, e 1090 °C, respectivamente da esquerda para direita.



Fonte: Arquivos da autora (2018).

4.5 Caracterizações

4.5.1 Composição Química Das Matérias-Primas

Para a determinação da composição química das matérias-primas, foi utilizada a técnica de espectrometria de fluorescência de raios X (FRX), com uma análise qualitativa, e quantitativa em que cada elemento se encontra presente na amostra.

A análise química por fluorescência de raios X foi realizada em modo qualitativo-quantitativo em espectrômetro modelo FRX 1800 da Shimadzu, no qual os raios X são gerados por meio de tubo com alvo de Rh.

As análises foram realizadas no Laboratório de Solidificação Rápida (LSR), UFPB.

4.5.2 Composição Mineralógica

Foi utilizada a Difração de raios X (DRX) para identificar e quantificar as fases cristalinas da matéria-prima de partida e das amostras queimadas em temperaturas distintas.

Para realização das análises, foi utilizado um difratômetro de Raios X, XRD 6000 da Shimadzu. A radiação utilizada foi $K\alpha$ do Cu (40KV/30mA); a velocidade do goniômetro foi de 2°/min e passo de 0,02° e varredura de 3° a 55°.

As análises foram realizadas no Laboratório de Combustíveis e Materiais (Lacom), UFPB.

4.5.3 Análise Granulométrica Por Difração à Laser

A análise granulométrica por difração à laser (AG) utiliza o método de dispersão de partículas em fase líquida associado com o processo de medida óptica através de difração de laser.

Para análise granulométrica utilizou-se um granulômetro da marca CILAS, modelo 1064, em modo úmido, até atingir a concentração ideal que é de 150 unidades de difração/área de incidência.

As análises foram realizadas no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Engenharia de Materiais, UFPB.

4.5.4 Microscopia Eletrônica De Varredura (MEV)

O MEV é utilizado para o estudo de superfícies, estruturas, morfologia e formas dos materiais. Foi analisada a superfície das seções dos corpos de prova pós queima para permitir o estudo da morfologia das amostras que foram submetidas a diferentes temperaturas. As amostras foram recobertas com ouro para análise.

4.5.5 Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimetria (TG)

Na Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimétrica (TG) são observadas as faixas de temperatura em que ocorre perda de massa ou transformações endotérmicas e exotérmicas. As análises foram realizadas no equipamento TA 60H da Shimadzu. A varredura inicia na faixa de 25 °C até 1000 °C, com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min. A atmosfera foi de ar sintético, e utilizou-se cadinho de porcelana. O registro da variação de massa e da diferença de temperatura foi feito simultaneamente.

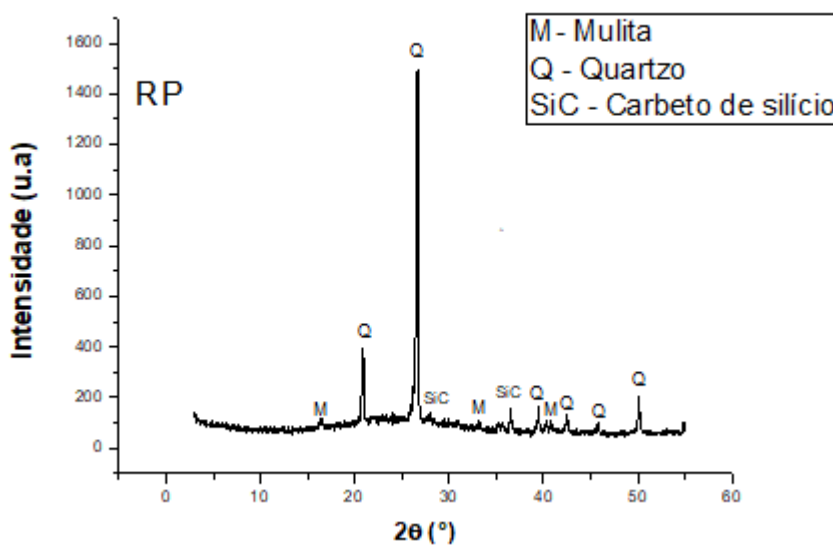
As análises foram realizadas no Laboratório de Solidificação Rápida (LSR), UFPB.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise da Composição Mineralógica

A composição mineralógica foi analisada a partir do ensaio de DRX, como mostrado na Figura 14.

Figura 14: Difratoograma do resíduo do polimento do porcelanato.



Fonte: Da autora (2018).

Há a presença de picos das fases cristalinas de mulita, quartzo e carbeto de silício (SANTOS *et al.*, 2012).

O quartzo é proveniente da massa do porcelanato, é o principal agente formador do esqueleto da peça cerâmica e confere a peça estabilidade dimensional, regulando a retração processo (ROSSO *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2012).

A fase da mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) é proveniente da cristalização do porcelanato a partir de 1200°C , uma vez que é resultado das reações de vitrificação das argilas que possuem como minerais argilosos a caulinita e a illita, além de outros aluminossilicatos, e formam agulhas que compõem o esqueleto do corpo cerâmico e contribui para o aumento da resistência mecânica (ROSSO *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2012).

O carbeto de silício é proveniente do processo do polimento do porcelanato, principalmente dos agentes abrasivos (SANTOS *et al.*, 2012).

O DRX do RPP indica que ele é essencialmente cristalino, e que tem a presença de matéria amorfo. O difratograma indicam que o RPP é um material reativo, devido ao halo amorfo bem alongado e mais acentuado na região entre 20° e 30° (NASCIMENTO 2016).

5.2 Análise da Composição Química do RPP

Segundo a análise de composição química do RPP, realizada através do FRX, temos a Tabela 2.

Tabela 2: Composição química do resíduo do polimento do porcelanato.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	
SiO ₂	77,01%
Al ₂ O ₃	13,27%
MgO	4,07%
Na ₂ O	1,76%
CaO	1,52%
K ₂ O	0,75%
Fe ₂ O ₃	0,69%

Fonte: Da autora (2018).

Observamos que a maior parte do resíduo do polimento do porcelanato é composto por sílica (SiO₂), e alumina (Al₂O₃), e óxidos sódico, e potássico que são os fundentes da massa de porcelanato e proporcionam a formação da fase vítrea e consequente densificação do material, bem como os caulins, ricos em alumina, que durante a queima vitrifica formando o esqueleto do corpo. Esses constituintes são provenientes do porcelanato cuja composição base se dá por feldspatos, areias feldspáticas e, às vezes, caulins, filitos e aditivos (LUZ *et al.*, 2008; ROSSO *et al.*, 2005; CHATTERJEE *et al.*, 2001).

Verifica-se que estes materiais apresentam aproximadamente 80%, em massa, de óxidos de alumínio e de silício, a qual é favorável para a formação de materiais cerâmicos, além da importância do óxido de silício como formador de rede (KUMMER *et al.*, 2007).

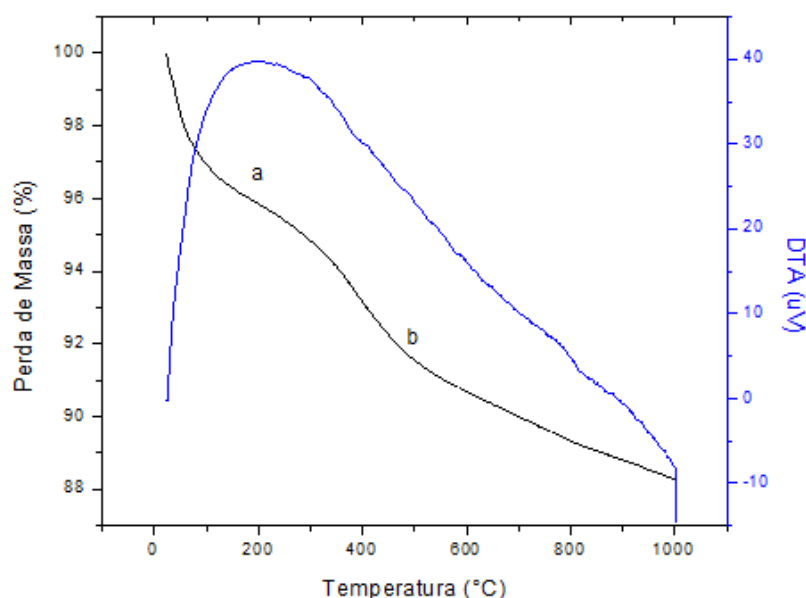
Há, também, presente em sua composição compostos magnesianos como o MgO, provenientes dos abrasivos utilizados no processo de polimento, por meio das cabeças polidoras, assim como parte da sílica é oriunda desse processo (ROSSO *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2012).

Dessa forma, pode-se afirmar que o RPP é composto principalmente pela própria formulação do porcelanato e pelo resíduo gerado pelo polidor, ambos na etapa de polimento (SOUZA 2007; SANTOS *et al.*, 2012).

5.3 Análise de Degradação Térmica

A análise térmica foi realizada a partir do ensaio de TG e DTA, onde obtivemos a curva de degradação térmica mostrada na Figura 15.

Figura 15: Termogravimetria e análise térmica diferencial do resíduo de polimento de porcelanato.



Fonte: Da autora (2018).

Pela análise da curva TG, observou-se que o processo de decomposição do resíduo ocorre em duas etapas distintas, identificadas por a e b, sendo elas, relacionadas à decomposição do resíduo até 1000 °C.

Na curva termogravimétrica (Figura 15), a decomposição da etapa a, inicia-se à temperatura ambiente e termina à temperatura de 300°C, aproximadamente. Neste processo a amostra perde cerca de 5 % de sua massa. A etapa b inicia-se à temperatura de 300°C e termina à temperatura de 600°C. Nesta faixa de temperatura foi observado uma perda de massa de cerca de 4 %. Logo, até 1000 °C verificou-se uma perda de massa de aproximadamente 11%, pois ele é um resíduo de um material já sinterizado por isso já se encontra relativamente estável (NASCIMENTO, 2016).

Dentro das etapas a e b da curva termogravimétrica, tem-se a ocorrência de quatro eventos distintos:

1. No intervalo de temperatura até 138,28°C ocorreu uma perda de massa referente à evaporação de água;
2. Na temperatura de 138,28°C até 402,62°C há uma perda de matéria orgânica;
3. Entre as temperaturas de 402, 62°C e 621,00°C ocorreu perda de massa que é referente a um fenômeno de desidroxilação;
4. Entre 621,00 °C e 1000 °C ocorre uma perda de massa correspondente aos óxidos de magnésio e de potássio.

Resultados semelhantes foram encontrados por SILVA (2012) e NASCIMENTO (2016)

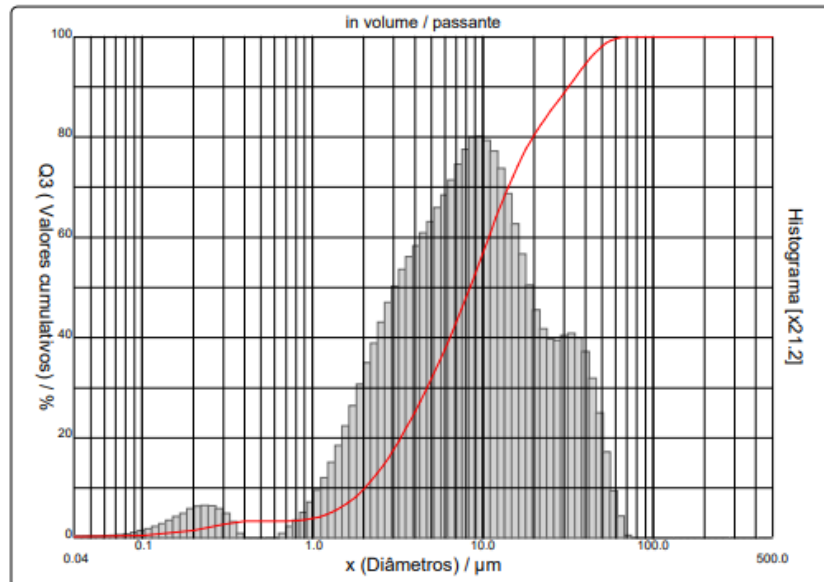
Analisando as curvas de DTA verifica-se que os resíduos apresentam uma banda exotérmica referente a perda de massa.

Resultados semelhantes foram encontrados por SILVA (2012) e NASCIMENTO (2016).

5.4 Análise Granulométrica

A análise granulométrica à laser está representada pelo histograma da Figura 16.

Figura 16: Histograma da distribuição granulométrica do RPP.

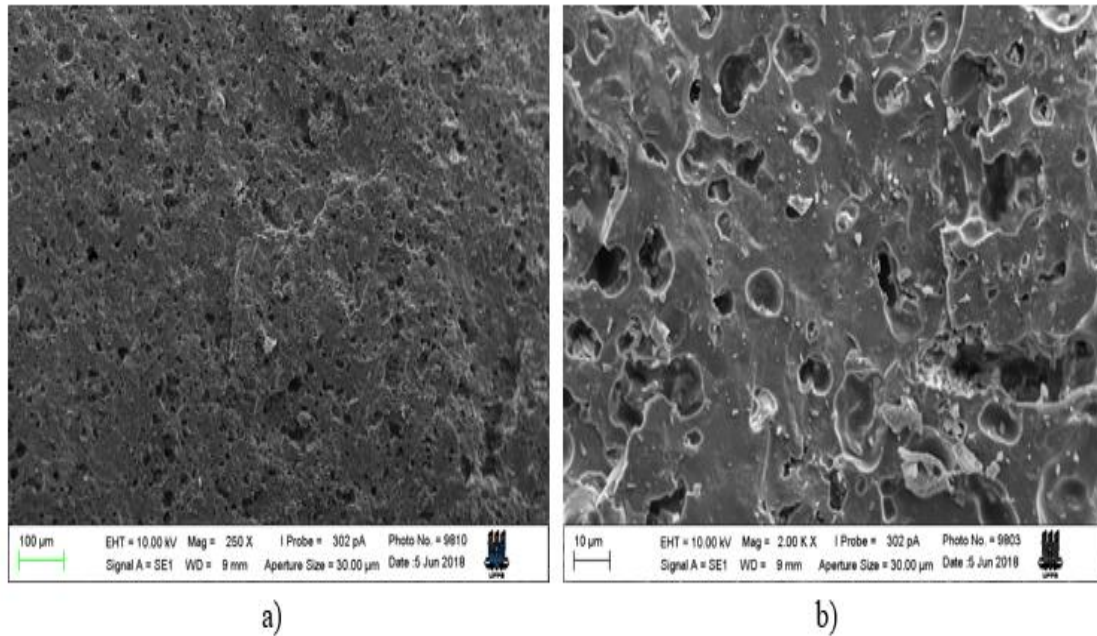


Fonte: Da autora (2018).

Segundo a análise granulométrica, o resíduo apresenta um diâmetro médio de $12,71 \mu\text{m}$, e, sendo 10% da massa acumulada com diâmetro médio equivalente abaixo de $2,03 \mu\text{m}$, diâmetro a 50% de $8,52 \mu\text{m}$ e diâmetro a 90% de $31,89 \mu\text{m}$. Logo, verificou-se que o resíduo, com dimensões máximas abaixo de $74 \mu\text{m}$, confirmando os valores encontrados na literatura (MARQUES et al., 20017; SOUZA 2007).

5.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

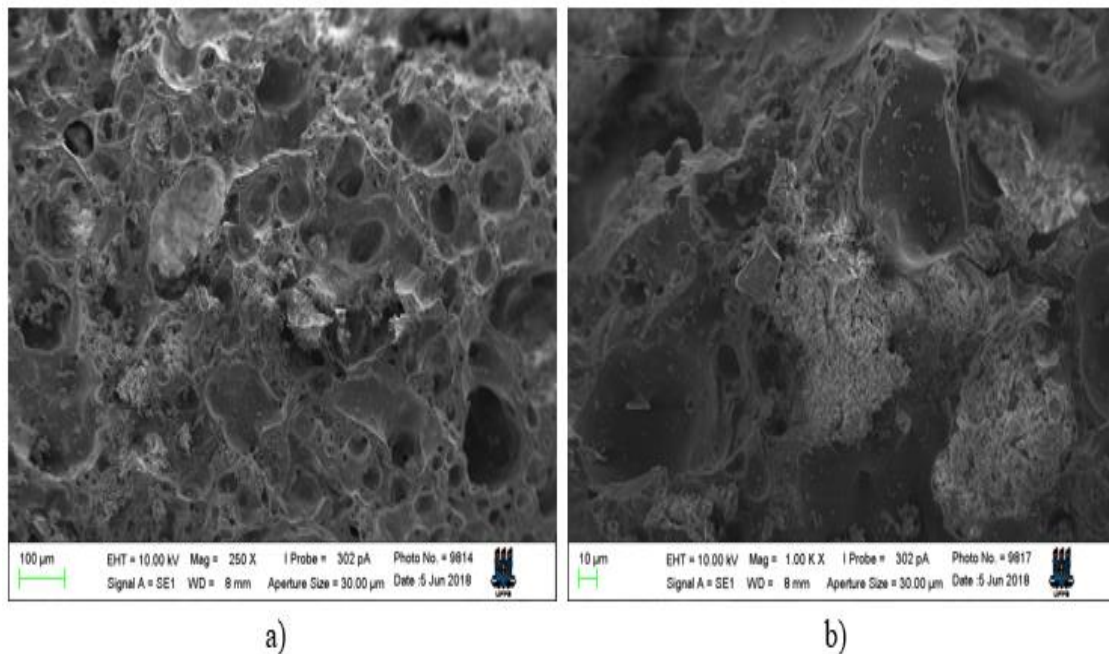
Figura 17: Micrografia do resíduo do polimento do porcelanato a 1090°C- a) ampliação de 100 μm ; b) ampliação de 10 μm .



Fonte: Da autora (2018).

Observou-se que nos corpos de prova submetidos a 1090°C houve uma boa sinterização do corpo de prova, e a consequente presença de poucos poros, e de pequenos tamanhos, formando um material, ainda, denso, em comparação com os corpos de prova submetidos às temperaturas mais altas.

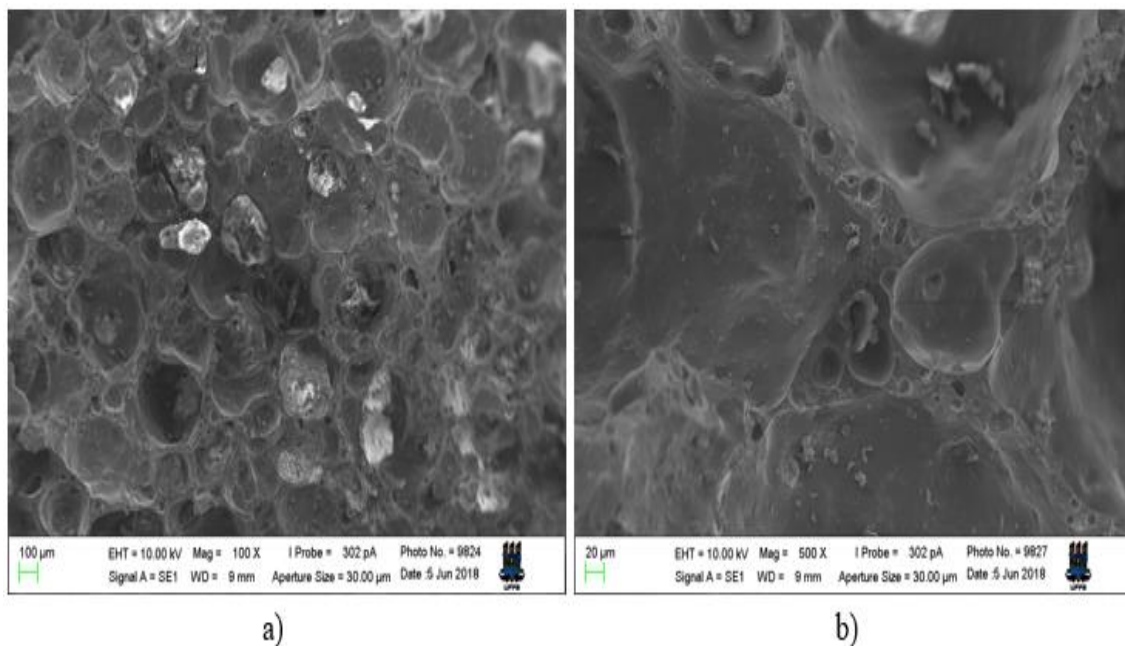
Figura 18: Microscopia do resíduo do polimento do porcelanato queimado a 1120°C- a) ampliação de 100 μm ; b) ampliação de 10 μm .



Fonte: Da autora (2018).

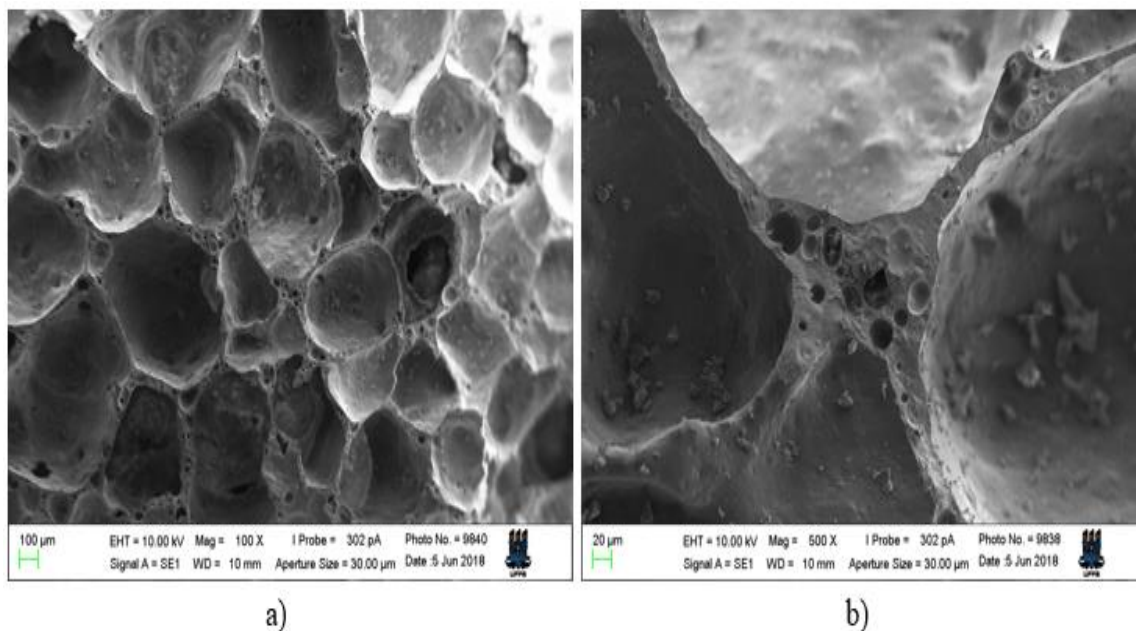
Na Figura 18 verifica-se uma quantidade maior de poros, com tamanhos superiores aos do material queimado a 1090°C, isso se dá, provavelmente, ao borbulhamento da fase líquida liberando gases, e devido ao início da dissolução do carbetto de silício, em fase líquida, formando sílica e dióxido de carbono, se dando assim a formação de maior número de poros, e de maiores diâmetros. Essa dissolução se dá a partir de 1100°C (SANTANA *et al.*, 2016).

Figura 19: Microscopia do resíduo do polimento do porcelanato queimado a 1150°C- a) ampliação de 100 μm ; b) ampliação de 20 μm .



Fonte: Da autora (2018).

Figura 20: Microscopia do resíduo do polimento do porcelanato queimado a 1180°C- a) ampliação de 100 μm ; b) ampliação de 20 μm .



Fonte: Da autora (2018).

Conforme mostraram as Figuras 19 e 20, observou-se que com o aumento da temperatura, há um aumento na porosidade e no diâmetro dos poros formados, e, conseqüentemente um aumento da expansão do material.

A queima do resíduo de porcelanato liberam gases, que estão relacionados com o borbulhamento da fase líquida e a queima (dissolução) do carvão de silício em fase líquida formando de sílica e dióxido de carbono. Estes gases são liberados e são responsáveis pela formação de poros abertos (SANTANA *et al.*, 2016).

Portanto, com o aumento da temperatura há a formação de um material cada vez mais poroso e leve.

6 CONCLUSÕES

O estudo sobre a potencialidade do reuso do resíduo do polimento do porcelanato foi motivada, principalmente, por motivos ambientais, e consequentemente para a melhoria do custo benefício na fabricação de outros produtos utilizando o resíduo reciclado, como o concreto leve, proposto pelo trabalho.

O principal objetivo do trabalho, foi analisar a potencialidade de reuso do resíduo do polimento do porcelanato como agregados leves para a incorporação na fabricação de concretos leves. Para isso, analisou-se a formação de porosidade nos corpos de prova que foram submetidos à queima em quatro temperaturas diferentes (1090, 1120, 1150 e 1180°C).

Os resultados revelaram que quando submetido a queima acima de 1100°C, o resíduo do polimento do porcelanato sofre expansão, o que pôde ser visto a olho nu, e pela caracterização da morfologia do material através da microscopia eletrônica de varredura. Essa expansão é causada pela formação de poros, devido principalmente ao borbulhamento da fase líquida e a liberação de gases, e a dissolução do carбето de silício em fase líquida formando sílica e dióxido de carbono. A presença do carбето de silício no resíduo se dá devido a etapa do polimento do porcelanato, pois ele está presente nos abrasivos usados na polidora.

Logo a reciclagem do resíduo do polimento do porcelanato, proporciona grande benefício ambiental, e ainda agrega melhorias no custo benefício da fabricação de concreto leve, pois pode substituir parcialmente, ou até totalmente os agregados leves utilizados convencionalmente.

Porém, para resultados mais completos e realistas, faz-se necessário a incorporação do resíduo em traços de concreto leve, a fim de caracterizações posteriores, das propriedades mecânicas, térmicas e tecnológicas desse material, em comparação aos materiais que são produzidos em escala industrial.

REFERÊNCIAS

- ABCERAM (São Paulo) (Org.). **INFORMAÇÕES TÉCNICAS - : PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**. 2016. Disponível em: <<http://abceram.org.br/processo-de-fabricacao/>>. Acesso em: 07 maio 2018;
- ALMEIDA, FL., *Mulheres recipientes: recortes poéticos do universo feminino nas artes Visuais* [online]. São Paulo: **Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica**, 2010. 238 p. ISBN 978- 85-7983-118-8. Available from SciELO Books;
- ANDREOLA, F.; BARBIERI, L.; CORRADI, A.; LANCELLOTTI, I.; MANFREDINI, T., Utilisation Of Municipal Incinerator Grate Slag For Manufacturing Porcelainized Stoneware Tiles Manufacturing, **Journal of the European Ceramic Society**, v. 22, p. 1457-1462, 2002;
- ANFACER (São Paulo) (Org.). **História da cerâmica**. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/historia-ceramica>>. Acesso em: 07 maio 2018;
- ANICER. **A cerâmica vermelha no brasil**. 2018. Disponível em: <www.anicer.com.br>. Acesso em: 14 maio 2018.
- ATÍLIO, I et al. SINTERIZAÇÃO DE CERÂMICAS DE SiC, VIA FASE LIQUIDA, COM ADITIVOS DE Al₂O₃-Yb₂O₃. In: 56° CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 56., 2018, Curitiba. **56° Congresso Brasileiro de Cerâmica 1º Congresso Latino-Americano de Cerâmica IX Brazilian Symposium on Glass and Related Materials**. Curitiba: Cbc, 2012. v. 56, p. 1291-1301. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/062/46062751.pdf>. Acesso em: 05 maio 2018

- BAUCIA, J. A.; KOSHIMIZU, L.; GIBERTONI, C.; MORELLI, M. R.; Estudo De Fundentes Alternativos Para O Uso Em Formulações De Porcelanatos, **Cerâmica**, 56, 262-272, São Paulo, 2010;
- BERNANDIN, A. M.; SILVA, M. J., CARVALHO, E. F. U. C.; RIELLA, H. G., Cerâmicas Celulares Obtidas A Partir De Resíduos De Polimento; **Cerâmica Industrial**, v. 12, n. 1/2, p. 31-35, 2007;
- BERNARDIN, A. M.; FELISBERTO, D. S.; Daros, M. T.; RIELLA, H. G., Reaproveitamento de Resíduos de Polimento e de Esmaltação para Obtenção de Cerâmica Celular, **Cerâmica Industrial**, v. 11, n. 5/6, p. 31-34, 2006;
- BERNARDIN, A. M.; SILVA, M. J.; RIELLA, H. G., Characterization of cellular ceramics made by porcelain tile residues. **Materials Science & Engineering A**, v. 437, p. 222-225, 2006;
- BIFFI, G. O.; Grês Porcelanato: Manual De Fabricação E Técnicas De Emprego, **Faenza Ed. do Brasil** 3a Ed., Rio Claro, (2002);
- BREITENBACH, S. B. et al. Adição de resíduo do polimento de porcelanato em argamassas de restauro à base de cal. **Cerâmica**, [s.l.], v. 63, n. 367, p.395-401, set. 2017. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132017633672182>> Acesso em 07 maio 2018;
- BREMNER, T. W.. Concreto de agregado leve. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - REIBRAC, 40., 1998, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Técnica, 1998. v. 37, p. 31 - 36. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/37/artigo287164-1.aspx>>. Acesso em: 14 maio 2018.

- BUSTAMANTE, Gladstone Motta; BRESSIANI, José Carlos. A indústria cerâmica brasileira. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, p.31-36, 05 maio 2000. Anual. Disponível em: <http://ceramicaindustrial.org.br/pdf/v05n03/v5n3_5.pdf>. Acesso em: 07 maio 2018;
- CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 8ed. LTC, São Paulo, 2002;
- CAMPAGNARO, A.; RIZZOTTO, S. Piastrelle Ceramiche per Pavimento e Rivestimento: Ambienti di Destinazione e Trattamenti. **Cerâmica Acta**, n. 5-6, p. 53-65, 1999;
- CERÂMICA . In: **ENCICLOPÉDIA Itaú Cultural de Arte e Cultura Brasileiras**. São Paulo: Itaú Cultural, 2018. Disponível em: <<http://enciclopedia.itaucultural.org.br/termo4849/ceramica>>. Acesso em: 15 de Mai. 2018. Verbetes da Enciclopédia. ISBN: 978-85-7979-060-7;
- CHATTERJEE, A. et al. Efeito da razão entre o feldspato sódico e potássico no desenvolvimento de fases e microestrutura de porcelanatos queimados. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 6, n.1, p. 23-26, set/out, 2001;
- CONCEITO de porcelanato. 2015. Disponível em: <<https://conceito.de/porcelanato>>. Acesso em: 07 maio 2018;
- CONSTANTINO, A. O.; ROSA, S. E. S.; CORRÊA, A. R.; Panoramas Do Setor De Revestimento Cerâmico, 2006, disponível em <http://www.bndes.gov.br/siteBNDES/exports/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/rs_rev_ceramicos.pdf> Acessado em 09 Maio 2018;

- COSTA, Cristina Henning da. **ESTUDO ECOTOXICOLÓGICO PARA VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO PRODUZIDO NO PROCESSO DE POLIMENTO DE PISO PORCELANATO NA INDÚSTRIA CERÂMICA**. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/94445/282052.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 13 maio 2018;
- CRUZ, Vitor Fonseca da. **Relatório de Estágio Curricular IV**. Santa Catarina: Ufsc, 2008. 24 p;
- DANA, K.; DEY, J.; DAS, S. K., Synergistic Effect Of Fly Ash And Blast Furnace Slag On The Mechanical Strength Of Traditional Porcelain Tiles, **Ceramics International**, v. 31, p. 147-152, 2005;
- EVERALDO (Comp.). **A arte da cerâmica**. 2011. Disponível em: <[https://pointdaarte.webnode.com.br/news/historia da cerâmica/](https://pointdaarte.webnode.com.br/news/historia-da-ceramica/)>. Acesso em: 14 maio 2018;
- FERNANDES, P.F.; OLIVEIRA, A.P.N.; HOTZA, D.. Reciclagem do Lodo da Estação de Tratamento de Efluentes de uma Indústria de Revestimentos Cerâmicos. Parte 1: Ensaios Laboratoriais. **Cerâmica Industrial**, Santa Catarina, v. 2, n. 8, p.26-34, Não é um mês valido! 2003. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228591631_Reciclagem_do_Lodo_da_Estacao_de_Tratamento_de_Efluentes_de_uma_Industria_de_Revestimentos_Ceramicos_Parte_1_Ensaios_Laboratoriais?enrichId=rgreq-c8435b3e7d152f1f7e697dc5660f3480-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzIyODU5MTYzMTtBUzoxMDI3MDQ2MTc2MjM1NjhAMTQwMTQ5ODA5NzQ1Nw==&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf>. Acesso em: 17 maio 2018

- FERRARI, K. R. et al. Transformação das matérias-primas do suporte durante a queima de revestimentos cerâmicos. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 53-58, mar/abr, 2000;
- GOMES, Paulo César Correia et al. Obtenção de concreto leve utilizando agregados reciclados. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 15, n. 3, p.31-46, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212015000300024>> Acesso em 10 maio 2018;
- KUMMER, Larissa et al. Reutilização dos Resíduos de Polimento de Porcelanato e Feldspato na Fabricação de Novo Produto Cerâmico. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 12, maio/junho, 2007. Disponível em: <http://www.ipen.br/biblioteca/2007/12843.pdf>. Acesso em: 13 maio 2018;
- LASERNA, Humberto Almeida de; REZENDE, Márcio Marques. **Agregados para a Construção Civil**. 2009. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>>. Acesso em: 14 maio 2018.
- LEITE, M. B.; **Avaliação de propriedades de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e de demolição**. Porto Alegre, 2001. 270 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós- graduação em Engenharia Civil. Universidade federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/Tese%20Monica%20Leite.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2018;
- LUZ, J. C.; **Desenvolvimento De Formulações Para Produção De Grês Porcelanato A Partir De Matérias Primas Da Região Da Bacia Do Parnaíba**, **Diss Mestrado, Depto. Eng. Materiais**, UFRN, Natal, RN, 2008;

- MAGAGNIN, Daniel. **Estudo Do Desempenho Mecânico De Formulações Industriais De Porcelanato Submetido A Resfriamento Rápido**. 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Unidade Acadêmica de Ciências, Engenharias e Tecnologias, Unesc, Santa Catarina, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/2288/1/Daniel_Magagnin.pdf>. Acesso em: 14 maio 2018;
- MARQUES, L. N., MENEZES, R. R., NEVES, G. A., SANTANA, L.N.L., LIRA, H. L., FERREIRA, H.C., (2007). Reaproveitamento do resíduo do polimento de porcelanato para utilização em massa cerâmica. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.2.2 (2007) 34-42;
- MARQUES, L. N.; MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; SANTANA, L. N. L.; LIRA, H.L.; FERREIRA, H. C.; Re-aproveitamento do resíduo do polimento do porcelanato para utilização em massa cerâmica. **REMAP**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/260388017_Re-aproveitamento_do_residuo_do_polimento_de_porcelanato_para_utilizacao_em_massa_ceramica> Acesso em: 08 maio 2018;
- MAYCÁ, Jeferson; CREMONINI, Ruy A.; RECENA, Fernando A. P. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA ARGILA EXPANDIDA NACIONAL COMO ALTERNATIVA DE AGREGADO GRÁUDO PARA CONCRETOS LEVES ESTRUTURAIS (CLE)**, 2008;
- MELO, M. M.; Formulação E Caracterização De Massa De Grês Porcelanato Preparadas A Partir De Matérias-Primas Naturais Do Rio Grande Do Norte, Com Adição De Chamote De Telhas, **Diss. Mestrado, Depto. Eng. Mecânica**, URFN, Natal, RN (2006);
- MENEZES, R. R.; ALMEIDA, R. R.; SANTANA, L. N. L.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; Ferreira, H. C., Utilização do resíduo do beneficiamento do

caulim na produção de blocos e telhas cerâmicos, **Revista Matéria**, v. 12, n. 1, p. 226 – 236, 2007;

- MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; LIRA, H. L.; FERREIRA, H. C., Use Of Granite Sawing Wastes In The Production Of Ceramic Bricks And Tiles, **Journal of the European Ceramic Society**, v. 25, p. 1149-1155, 2005;
- MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C., O Estado da Arte Sobre o Uso de Resíduos como Matérias-primas Cerâmicas Alternativas, **Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, 303-313, 2002;
- MOTTA, José Francisco Marciano; ZANARDO, Antenor; CABRAL JÚNIOR, Marsis. As matérias-primas cerâmicas: parte I – o perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v.6, n.2, mar./abr., 2001;
- NASCIMENTO, M, V, L de A. **Estudos de blocos intertravados de concreto para pavimentação com incorporação de resíduo do polimento do porcelanato**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Caruaru/PE, 2016;
- OLIVEIRA, A. P. N.; Grês Porcelanato: Aspectos Mercadológicos E Tecnológicos, **Cerâmica Industrial**, V. 3, n. 3, 34, 1998;
- PINATTI, D. G.; CONTE, R. A.; BORLINI, M. C.; SANTOS, B. C.; OLIVEIRA, I.; VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N., Incorporation Of The Ash From Cellulignin Into Vitrified Ceramic Tiles, **journal of the european ceramic society**, v. 26, n. 3, 305-312, 2005;

- PINHEIRO, A. S. **Produção de grês porcelanato a partir de matérias primas do Rio Grande do Norte e queima a gás natural**. Natal: Dissertação de Mestrado, UFRN, 2006;
- REIS, Jaisson Potrich dos. **INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS EM MASSA CERÂMICA USADA NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Estadual de Santa Catarina. Florianópolis. 2007;
- ROSSIGNOLO, João A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. 1 ed. São Paulo: PINI, 2009;
- ROSSO, Jeancarlo; CUNHA, Edilene de Souza; ROJAS-RAMÍREZ, Roberto A.. Características Técnicas e Polimento de Porcellanatos. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 10, p.11-14, 4 jul. 2005. Anual. Disponível em: <http://ceramicaindustrial.org.br/pdf/v10n04/publicado_v10n4a02.pdf>. Acesso em: 07 maio 2018;
- SALEM, A.; MATER, J.; Dilatometric Study Of Shrinkage During Sintering Process For Porcelain Stoneware Body In Presence Of Nepheline Syenite, **Proc. Technol.** 209, 3 (2009) 1240;
- SANTANA, Geovana Lira; CAMPOS, Lizabetha Fernanda Araújo., Natal. **EFEITO DA ADIÇÃO DO RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO NAS PROPRIEDADES DE BLOCOS CERÂMICOS**. Natal: Cebecimat- Trabalhos Completos, 2016. v. 22, p. 2465 - 2476. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/22cebecimat/anais/PDF/116-074.pdf>>. Acesso em: 07 maio 2018.
- SANTOS et al., CEBECIMAT, 20., 2012, Santa Catarina. **REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO PROVENIENTE DO**

POLIMENTO DO PORCELANATO NA PRODUÇÃO DE NOVOS PRODUTOS CERÂMICOS Joinville: Cebecimat- Trabalhos Completos, 2012.

9 p;

- SANTOS, Maria Luiza Lopes de Oliveira. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil**. 2008. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Disponível em: <<ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/MariaLLOS.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2018;
- SANTOS, P. S. Tecnologia de Argilas: aplicada às argilas brasileiras. São Paulo: **Universidade de São Paulo**, 1975. v. 2: Aplicações.
- SCOBAR, Renan Luna. **CONCRETO LEVE ESTRUTURAL: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida**. 2016. 48 f. Graduação (TCC)- Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6892/1/CM_COECI_2016_1_29.pdf>. Acesso em: 14 maio 2018;
- SILVA, G. J. B.; **Estudo do comportamento do concreto de cimento Portland produzido com a adição do resíduo do polimento do porcelanato**. Belo Horizonte, 2015. 92p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.pos.demet.ufmg.br/hpcpgem/P/defesas/911M.PDF>>. Acesso em: 14 maio 2018;

- **SILVA, M. G. Avaliação da incorporação combinada dos resíduos de cascalho de perfuração de poços petrolífero e de polimento do porcelanato em cerâmica vermelha.** Tese (doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.2012.
- **SOUZA, P. A. B. F. Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato.** 2007. 208 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- **TORRES, P.; FERNANDES, H. R.; AGHATOPOULOS, S.; TULYAGANOV, D. U.; FERREIRA, J. M. F.,** Incorporation Of Granite Cutting Sludge In Industrial Porcelain Tile Formulations, **Journal of the European Ceramic Society**, v. 24, p. 3177- 3181 2004;